DIE VERTIKALE VERTEILUNG VON WIND-GESCHWINDIGKEIT UND TEMPERATUR IN DEN UNTERSTEN METERN ÜBER DER WASSEROBERFLÄCHE

BEARBEITET AUF GRUND VON MESSUNGEN BEI
DER INSEL „GREIFSWALDER OIE" UND AUF DEM SAKROWER SEE

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DES DOKTORGRADES

GENEHMIGT VON DER

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT

DER FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT

ZU BERLIN

VON

HERBERT BRUCH

AUS SCHILTIGHEIM

TAG DER MÜNDLICHEN PRÜFUNG: 13. MÄRZ 1940
TAG DER PROMOTION: 25. OKTOBER 1940

E. S. MITTLER & SOHN, BERLIN SW 68

N 50

REFERENTEN: PROF. DR. DEFANT
PROF. DR. WÜST

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

(ERSCHEINT AUCH IN DEN VERÖFFENTLICHUNGEN DES INSTITUTS FÜR MEERESKUNDE
AN DER UNIVERSITÄT BERLIN, NEUE FOLGE, REIHE A, HEFT 38)

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung 5

I. Meßapparatur und Meßmethode 6

a) Der Schwimmrahmen 6

b) Das Instrumentarium 8

c) Eichung der Meßinstrumente 10

1. Anemometer 10

2. Thermoelemente 11

d) Beschreibung der Beobachtungsorte 13

II. Theoretische Betrachtungen zum Problem der Windreibung und des Austausches 17

a) Allgemeine Betrachtungen 17

b) Zusammenhang des Austauschkoeffizienten mit dem Schubspannungsgesetz 22

c) Beeinflussung des Windprofils und des Austausches durch thermische Schichtung 23

III. Meßergebnisse 23

1. Ergebnisse der Windgeschwindigkeitsmessungen 26

a) Theoretische Betrachtungen 26

b) Berechnung des Rauhigkeitsmaßes z_0 29

c) Berechnung des Wertepaares (r_2, γ_2) nach dem Verfahren Rossbys . . 30

d) Berechnung des Austauschkoeffizienten in Abhängigkeit von der Höhe z und der Windgeschwindigkeit 31

e) Ein Beispiel zur Berechnung des Einflusses thermischer Schichtung auf die Windgeschwindigkeitsverteilung 33

2. Übersicht über die Ergebnisse der Temperaturmessungen 35

IV. Zusammenfassung 41

Literaturverzeichnis 43

Tabelle I: Die in dieser Arbeit benutzten Temperatur- und Windmessungen am Sakrower See 44

Tabelle Ia: Die in dieser Arbeit benutzten Temperatur- und Windmessungen in der Ostsee (Insel Oie) 47

V. **Anhang:** Sämtliche Beobachtungsserien der vertikalen Verteilung von Windgeschwindigkeit, Temperatur und Feuchte über dem Sakrower See und der Ostsee (Insel Greifswalder Oie) 51

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548011_0239

Einleitung.

Die großen Fortschritte, die in der Theorie der Windreibung und des damit eng verbundenen Austausches in neuester Zeit erzielt wurden, erfordern immer dringender eine Erhärtung der Erkenntnisse durch entsprechendes Beobachtungsmaterial. Insbesondere fehlen Messungen der meteorologischen Elemente in den untersten Luftschichten über Wasserflächen, speziell über dem Meere. Schon 1920 forderte *Wüst* (1) im Hinblick auf die Berechnung der Verdunstung über dem Meere eine genaue Feststellung des vertikalen Gradienten der Windgeschwindigkeit, Temperatur und Feuchte in den untersten Metern über der Meeresoberfläche. *Wüst* selbst (2) hat derartige Untersuchungen verschiedentlich angestellt bzw. die wenigen früher vorhandenen Meßreihen formelmäßig zu erfassen versucht. Die vorliegende Untersuchung ist eigentlich nur eine Ausgestaltung des bereits von ihm begonnenen Verfahrens, indem nunmehr an Stelle der mehr oder minder Fehlerquellen unterworfenen älteren Versuchsapparaturen moderne Kontaktanemometer- und Thermoelement-Messungen gesetzt wurden. Die Benutzung von Kontaktanemometern ließ sich, da unbedingt eine zuverlässige Messung der Windgeschwindigkeit erstrebt werden mußte, die ohne große Kompliziertheit arbeitete, nicht umgehen. Von den früheren Untersuchungen weichen die neuen aber auch darin ab, daß mit ihnen zum ersten Male annähernd gleichzeitig die gewünschten Größen in 4 bis 5 verschiedenen Höhen erfaßt wurden. Um das Problem möglichst vollständig zu behandeln, wurden zu diesen Messungen der Windgeschwindigkeit und der Temperatur über Wasser auch noch solche der Temperatur u n t e r Wasser hinzugefügt. Da andererseits zu erwarten war, daß die Messungen von Temperatur- und Windgradienten allein eine vollständige Erklärung der zu erwartenden vertikalen Verteilungen kaum ermöglichen würden, wurde von vornherein die Messung des Strahlungsumsatzes und der Feuchte in das Programm der Beobachtungen mitaufgenommen.

Es stehen so neben den hier zunächst zur Behandlung gelangenden Temperatur- und Windverhältnissen auch andere Meßgrößen zur Verfügung, die in ihrer Gesamtheit einen Überblick über den Wärmehaushalt der Wasserfläche zur Beobachtungszeit zu geben imstande sind.

Eine derartig große Anzahl von verschiedenen Meßgeräten erforderte eine sorgfältige Vorbereitung der gesamten Beobachtungen. Bei der Ausführung der Untersuchung konnte auf ähnliche Pläne zurückgegriffen werden, die bereits seit einigen Jahren bei Prof. *Defant*, Prof. *Wüst* und Reg.-Rat Dr. *Albrecht* bestanden und auch von der Deutschen Forschungs-Gemeinschaft durch Zuwendungen unterstützt worden waren. Unter Zuhilfenahme der dabei gemachten früheren Erfahrungen wurde mit Mitteln der Deutschen Forschungs-Gemeinschaft in Zusammenarbeit mit Dr. *Albrecht*, Potsdam, und mit freundlicher Unterstützung meiner hochverehrten Lehrer Prof. *Defant* und Prof. *Wüst* das Aufnahmegerät entwickelt und das Meßverfahren, soweit es sich voraussehen ließ, festgelegt.

Allen hier Genannten sowie auch dem Leiter des Meteorologischen Observatoriums in Potsdam, Herrn Ob.-Reg.-Rat Dr. *Hölper*, gilt mein herzlichster Dank.

Die Apparaturen wurden von den Mechanikermeistern Heese und Ketteniß im Meteorologischen Observatorium Potsdam angefertigt.

I. Meßapparatur und Meßmethode.

a) Der Schwimmrahmen.

Von vornherein muß bei Untersuchungen gerade in der Nähe der Wasseroberfläche darauf Rücksicht genommen werden, daß eine möglichst geringe Beeinflussung des Meßsystems durch störende Hindernisse (Schiffskörper, Beobachter usw.) stattfindet. Aus diesem Grunde hat man stets Messungen von einem Floß aus ins Auge gefaßt, wodurch der Einfluß größerer

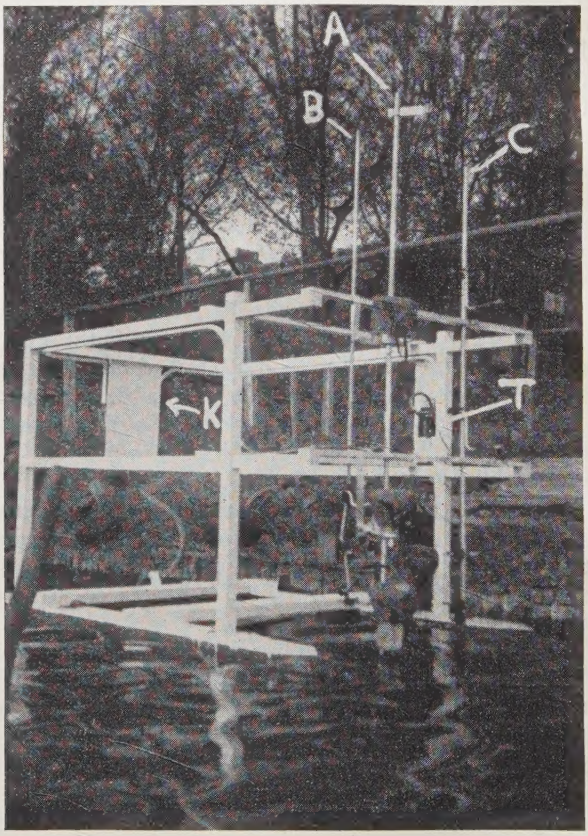


Abb. 1. **Der Schwimmrahmen mit Meßgeräten.**
A = Stange mit Kontakt-Anemometern (unter Schutzkappen).
B = Stange mit Thermoelementen zur Messung der Wassertemperatur.
C = Stange mit Thermoelementen zur Messung der Lufttemperatur.
T = Thermosflasche für die inaktiven Lötstellen.
K = Kabelanschluß.

schwimmender Teile auf das Mindestmaß beschränkt wurde. Die Verwendung der elektrischen Methode ermöglicht es, hierbei noch wesentlich weiter zu gehen und die hauptsächlichsten Meßgeräte in einem Schwimmrahmen zu vereinigen, der durch ein 10 m langes Kabel mit dem Boot, in dem der Beobachter saß, verbunden war. Der Rahmen sollte an einer Boje verankert im Wasser schwimmen, so daß das mit einer Leine und Kabel mit ihm verbundene Boot sich stets in Lee des Gebers befinden mußte. Vom Boot aus

wurden nur die Messungen mit dem Strahlungsumsatzmesser ausgeführt. Bei diesem einen Apparat konnte auch ohne weiteres auf einen geringen störenden Einfluß des Bootes geachtet werden. Der Schwimmrahmen ist in Abb. 1 (im Lichtbild) wiedergegeben. Er besteht aus zwei Schwimmern, die mit etwa 20 cm Tiefgang parallel zur Windrichtung ins Wasser eintauchen, und einem sie über Wasser verbindenden Gerüst, an dem an der Luvseite 5 Kontaktanemometer in 18, 32, 64, 128 und 212 cm Höhe angebracht waren.

Verwendet wurden Fueßsche Kontaktanemometer mit 100 m Windweg zwischen 2 Kontakten. Die Anemometer saßen an einer Stange, die durch

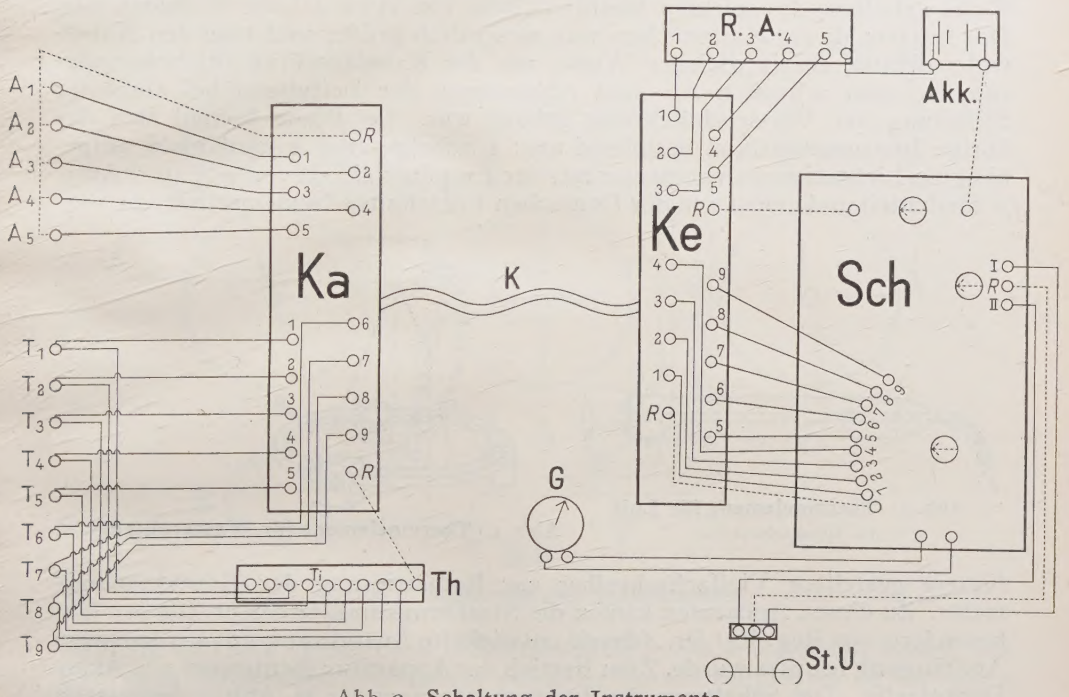


Abb. 2. **Schaltung der Instrumente.**

A_1—A_5 = Anemometer,
T_1—T_9 = Thermoelemente,
Ti = Inaktive Lötstellen der Elemente in der Thermosflasche *Th*,
Ka = Kabelanschluß,
K = Kabel,
Ke = Kabelendverschluß,
Sch = Schaltkasten,
G = Galvanometer,
St. U. = Strahlungsumsatzmesser,
Akk = Akkumulator,
R. A. = Registriervorrichtung für die Anemometer.

einen Schnurzug während der Anfahrt zum Beobachtungsort bzw. bei besonders hohem Seegang hochgezogen werden konnte. Gleichfalls an der Luvseite des Rahmens waren zwei Stangen mit den Thermoelementen befestigt, von denen 5 in der Höhe der Anemometer über dem Wasser lagen, während 4 weitere zur Temperaturmessung des Wassers dienten. Ihre Tiefen waren: 0, 2, 5, 30 cm. Zur Aufnahme der inaktiven Lötstellen der Thermoelemente diente eine mit Paraffinöl gefüllte Thermosflasche, die an der Seite des Rahmens befestigt war. Die Temperatur ihres Inhaltes wurde mit einem in $^1/_{10}°$ geteilten Thermometer bestimmt.

Einen wesentlichen Teil des Rahmens bildete der Kabelanschluß, der als wasserdicht gebauter Kabelendverschluß sich an der Leeseite im oberen Teil des Schwimmrahmens befand. Er ermöglichte es, das Kabel in kurzer Zeit

durch sinnreich konstruierte Verschraubungen anzuklemmen bzw. zu lösen. Das ganze Gebersystem war so angeordnet und gebaut, daß es der starken Beanspruchung, die bei Versuchen auf See stets in Rechnung gezogen werden muß, ohne nennenswerte Störungen standhielt.

b) Das Instrumentarium.

Die Verbindung zwischen dem Rahmen und dem Boot besorgte ein flexibles Gummikabel von 24 Kupferadern (Litzendurchmesser = 1 mm). Das Kabel wurde durch Korkstücke in Abständen von 70 cm an der Wasseroberfläche gehalten. Es reichten hierfür Stücke von etwa 4 Liter Volumen aus. Das letztere dieser Korkstücken war wesentlich größer und trug den Kabelendverschluß, der in gleicher Weise, wie der Kabelanschluß am Schwimmrahmen, zum schnellen An- und Abklemmen der Leitungen bei absoluter Sicherung der Wasserabdichtung gebaut war. Im Boote befand sich das übrige Instrumentarium, bestehend aus: 1 Schaltkasten, 1 kardanisch aufgehängten Lichtzeigergalvanometer mit der Empfindlichkeit von 2×10^{-7} Amp. je Skalenteil und einem von der Deutschen Forschungs-Gemeinschaft zur Ver-

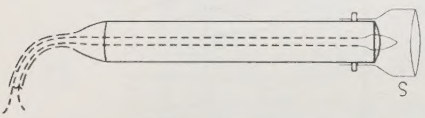


Abb. 3. **Thermoelement für Luft.**
S = Metallschutzhülle.

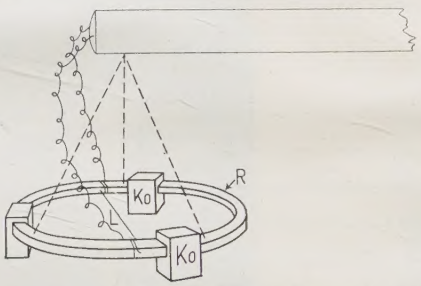


Abb. 4. **Thermoelement für Wasseroberfläche.**

fügung gestellten Vielfachschreiber zur Registrierung der Kontaktanemometer. Zu diesen Apparaten kamen die Strahlungsumsatzmesser, für den eine besondere, von Reg.-Rat Dr. *Albrecht* entwickelte Ausführung mit kardanischer Aufhängung benutzt wurde. Zum Betrieb der Apparatur diente eine 4 V Akku-Doppelzelle. Die Schaltung des Instrumentariums ist in Abb. 2 dargestellt.

Von diesem Instrumentarium seien das Thermoelement-System und der Schaltkasten noch ausführlicher beschrieben, da sie auch für künftige Versuche von Bedeutung sein können. Das Gebersystem der Thermoelemente bestand aus 0,05 mm Kupfer- und Konstantan-Drähten, die, in eine Schleife gelegt, aus einem mit Vergußmasse geschlossenen Schaft herausragten. Ein solches Thermoelement ist in Abb. 3 dargestellt. Die dünnen Drähtchen waren etwa 30 mm lang. Die Schleifenlänge außerhalb des Schaftes betrug dabei nur 10 mm, da längere Schleifen häufiger mechanischen Störungen ausgesetzt waren. An die dünnen Drähte schlossen sich stärkere Drähte gleichen Materials an. Benutzt wurden Konstantan-Drähte von 0,6 mm Querschnitt und Kupferdrähte von 0,25 mm Querschnitt. Die Drähte waren in biegsamen Mipolam-Schläuchen verlegt, die, sie isolierend, ineinandergesteckt waren. Die 3 Thermoelemente unter Wasser waren genau so gebaut wie die für die Luft, nur mußte ihren Meßschleifen wegen der wesentlich stärkeren mechanischen Beanspruchung ein stärkerer Durchmesser gegeben werden. Sie bestanden aus 0,25 mm-Konstantan- und Manganin-Drähten, an die sich im Inneren des Schaftes wieder die besser leitenden Kupfer- und

Konstantan-Drähte anschlossen. Bei dieser Anordnung mußte naturgemäß eine thermisch engere Verbindung zwischen Schaft und Lötstelle eintreten, andererseits war auch eine größere Strahlungsaufnahme der Lötstelle selbst zu befürchten, da stärkere Drähte für sie verwendet wurden. Beide Effekte kommen aber als Störungsquelle deswegen nicht in Betracht, weil die Wärmeleitfähigkeit des Wassers doch erheblich größer als die der Luft ist.

Eine besondere Form mußte dem Thermometer zur Bestimmung der wahren Temperatur der Wasseroberfläche gegeben werden. Hierfür lagen nur die mit dem *Merz*schen Oberflächenthermometer (3) gewonnenen Erfahrungen vor, welches als Quecksilber-Thermometer des Strahlungsschutzes

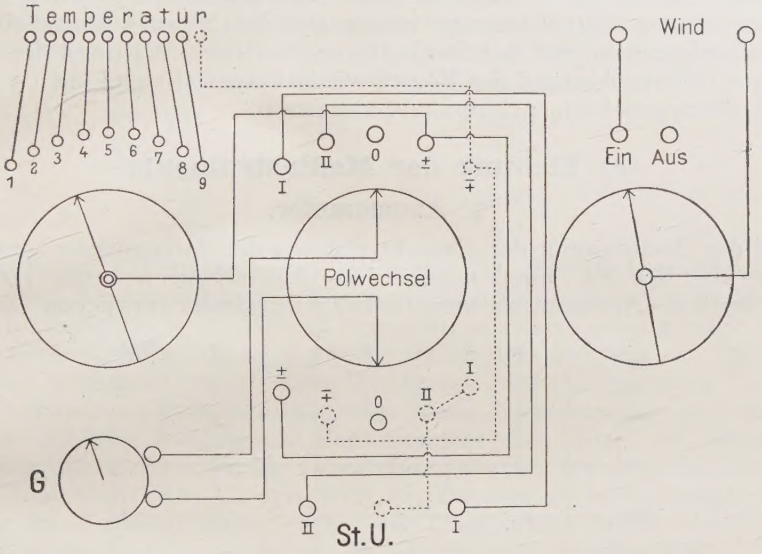


Abb. 5. **Schaltung des Schaltkastens.**

bedurfte und eine immer noch verhältnismäßig große Ausdehnung besaß. Die hier nach zahlreichen Versuchen gewählte Ausführungsform ist in Abb. 4 dargestellt. In ihr bedeuten:

R einen Trolitulring von 5 cm innerem und 6 cm äußerem Durchmesser, der auf 3 Korkstücken Ko schwamm. Der Ring war an drei Fäden (s. Abb.) aufgehängt und trug die Zuführungen zur Lötstelle L, die einen Kupfer- und Konstantandraht von je 0,05 mm Dicke miteinander verband.

Vom Ring aus führen stärkere Drähte gleichen Materials (Durchm. = 0,25 mm) in weichfedernden Spiralen zum Schaft. Durch diese Vorrichtung wurde es erreicht, daß die Lötstelle auch den kleinsten Schwankungen der Wasseroberfläche folgte. Naturgemäß mußte mit einer gelegentlichen Zerstörung dieses immerhin empfindlichen Systems gerechnet werden, so daß ein Ersatzexemplar bereit gehalten wurde. Der Sicherheit halber war auch für die übrigen Thermometer je ein Ersatzthermometer vorgesehen.

Die Schaltung des Thermoelement-Systems wurde in der Weise durchgeführt, daß alle Thermometer durch den im Schaltkasten befindlichen Schalter nacheinander an das Galvanometer und die mit ihm fest verbundene inaktive Lötstelle gelegt werden konnten.

Da das Galvanometer den Nullpunkt an der Seite hatte, mußte noch ein Polwechsel im Schaltkasten vorgesehen werden, um auch negative Temperaturdifferenzen ohne weiteres erfassen zu können. Die Schaltung des Schaltkastens ist in Abb. 5 noch einmal genauer dargestellt. Der Schaltkasten hatte die Aufgabe, nicht nur die Thermoelement-Umschaltungen zu besorgen, sondern auch das Galvanometer auf den Strahlungsumsatzmesser umzuschalten. Er vermittelte auch die Auslösung der Registrierung der Windgeschwindigkeiten während der Dauer der Versuche.

Zur Bestimmung der Luftfeuchte wurde ein Kipp-Aßmann der Fa. Richter & Wiese benutzt, der am Schwimmrahmen aufgehängt wurde, so daß sich seine Öffnung in 60 cm Höhe über dem Wasserspiegel, auf denselben gerichtet, befand. Zur Ablesung wurde mit dem Boot herangefahren, das Uhrwerk aufgezogen und der Strumpf angefeuchtet. Während der Laufzeit wurde der frühere Abstand des Bootes wiederhergestellt und nach 5 Minuten abermals herangefahren, gekippt und abgelesen.

c) Eichung der Meßinstrumente.

1. Anemometer.

Bei der Bestimmung der Charakteristiken der Anemometer wurde nicht nur der von der Fa. Fueß mitgelieferte Eichschein benutzt, sondern es wurden auch die Anemometer unmittelbar miteinander verglichen. Zu diesem

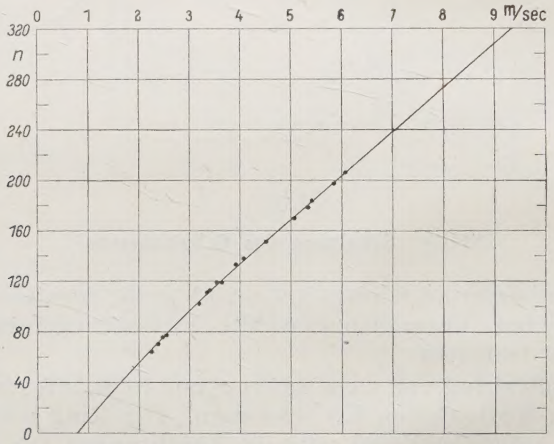


Abb. 6. **Eichkurve für das Anemometer Nr. 9830.**

Zwecke wurden sie auf der Luvseite des Daches des Meteorologischen Observatoriums in Potsdam auf einem geigneten Gerüst in 2 m Höhe über dem Dach und im gegenseitigen Abstand von 40 cm angeordnet und der Registrierapparat eingeschaltet. Durch mehrfaches Austauschen der Anemometer gegeneinander wurde festgestellt, daß das Gerüst selbst keine meßbaren störenden Einflüsse auf den Gang der Anemometer ausübte. Die natürliche Streuung der Aufzeichnungen betrug $\pm$ 0,2 m/sec. Diese Schwankungen hoben sich schon bei der Durchzeichnung der Eichkurven als zufällige Abweichungen heraus. Immerhin gibt die Größenordnung von 0,2 m/sec den maximalen Wert der Ungenauigkeit einer einzelnen Messung an. Alle so relativ zueinander festgelegten Anemometer-Eichkurven wurden in Beziehung gesetzt zu der Eichkurve eines besonders genau von der Fa. Fueß in ihrem Wind-

kanal geeichten Anemometers und hierdurch die absolute Eichkurve eines jeden Anemometers ermittelt. Ein Beispiel einer derartigen Eichkurve ist in Abb. 6 wiedergegeben. Diese Abbildung zeigt deutlich, daß der allgemeine Verlauf der Kurve nicht ganz geradlinig ist, sondern schwach konkav gegen die Abszisse, auf der die m/sec aufgetragen wurden, gekrümmt ist. Ein derartiger Verlauf wurde auch bei den genauen Fueßschen Eichkurven festgestellt. Er hat zur Folge, daß die Anlaufkonstante a in der Praxis um 30 % bis 50 % größer wird, als sie bei Aufstellung der Formel $v = a + b\,n$ durch Eichung bei Windgeschwindigkeiten oberhalb 3 m/sec zu berechnen ist. Da die Anemometer hier nur in geringen Höhen über der Erdoberfläche angewendet wurden, also sehr häufig geringen Windgeschwindigkeiten ausgesetzt waren, mußte auf diese Erscheinung geachtet werden. Die so bestimmten Anlaufkonstanten sind aus der folgenden Zusammenstellung zu ersehen:

Anemometer Nr.	Anlaufkonstante
205 503	0,5
205 504	0,5
9 822	0,8
9 830	0,8
21 326	0,8

Bezüglich dieser Anlaufkonstanten teilte mir Dr. *Albrecht* freundlicherweise mit, daß nach Vergleichung mit Hitzdraht-Instrumenten bei sehr geringen Windgeschwindigkeiten der Anlauf eines Anemometers erst, je nach seinem Trägheitsmoment, bei etwa 1—1,3 m/sec stattfindet, während das Stillstehen erst eintritt, nachdem längere Zeit Windgeschwindigkeiten unter 0,2 m/sec beobachtet wurden. Die Anlaufkonstante eines Anemometers wäre demnach nicht eine eindeutig festliegende Zahl, sondern das Mittel aus einem verhältnismäßig hohen Wert für die Inbewegungsetzung des stillstehenden Anemometers und einem sehr kleinen Wert für die eigentliche Unterhaltung der Bewegung des Schalenkreuzes, wobei der Unterschied beider Werte durch das Trägheitsmoment des benutzten Schalenkreuzes gegeben wird.

2. Thermoelemente.

Die Eichung der Thermoelemente wurde in der Weise durchgeführt, daß die aktiven Lötstellen nacheinander in Wasser von verschiedener Temperatur getaucht wurden, während die inaktiven Lötstellen in ihrem Paraffinölbad verblieben. Als Wasserbehälter wurden bei den Eichungen Thermosflaschen benutzt. Die Wassertemperatur wurde mit einem in $^1/_{10}°$ geteilten Thermometer festgestellt. In Abb. 7 sind 2 Eichkurven eines derartigen Thermoelementes, deren Eichungen am 5. V. 1939 in Sakrow und am 7. VII. 1939 auf der Insel Oie ausgeführt wurden, dargestellt. Die mittlere Lufttemperatur war im ersten Falle etwa 16°, im zweiten Falle etwa 18°. Die in der Abbildung dargestellten Eichkurven zeigen gegeneinander eine Parallelverschiebung von 0,2° C. Eine ähnliche Verschiebung zeigen auch die Eichkurven einiger anderer Thermoelemente, während sie für die meisten völlig konstant blieben.

Über den Grund der Parallelverschiebungen wurden mehrfache Untersuchungen angestellt. Es konnte festgestellt werden, daß ähnliche Abweichungen auch beim Einklemmen von Kurzschlußverbindungen an Stelle der Thermoelemente eintraten. Diese hielten sich zeitlich völlig konstant auf ihrem einmal bestehenden Wert. Temperatureinwirkungen waren nicht zu beobachten. Es muß angenommen werden, daß diese Verschiebungen der

Eichkurven durch das Auftreten von Potentialdifferenzen innerhalb der Leitungen verursacht werden. Nach Mitteilung von Dr. *Albrecht* sind derartige Potentialdifferenzen in Leitungen, die nicht aus homogenen Materialien bestehen, nichts Außergewöhnliches und kaum zu vermeiden. Im vorliegenden Falle wird die Inhomogenität der Leitungen durch ihre Unterbrechung an den

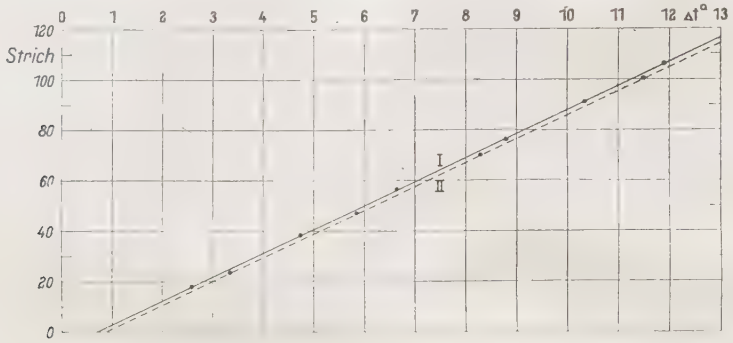
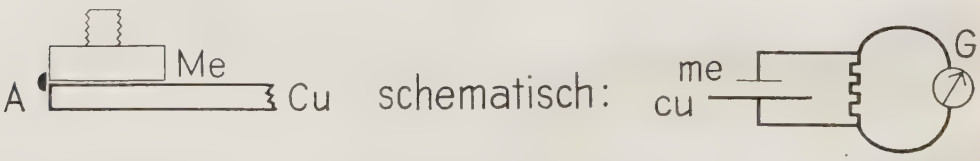


Abb. 7. **Zwei Eichkurven für das Thermometer Nr. 4.**
I am 5. V. 1939 — *II* am 7. VII. 1939.

Klemmstellen der Kabelanschlüsse bewirkt, denn hier mußten an Stelle der wissenschaftlich unbedingt zu verlangenden Kupferklemmen solche aus Messing verwendet werden, da Kupferklemmen nicht zu beschaffen waren. Das Entstehen eines solchen Kontaktpotentials kann nach der untenstehenden Zeichnung erklärt werden:



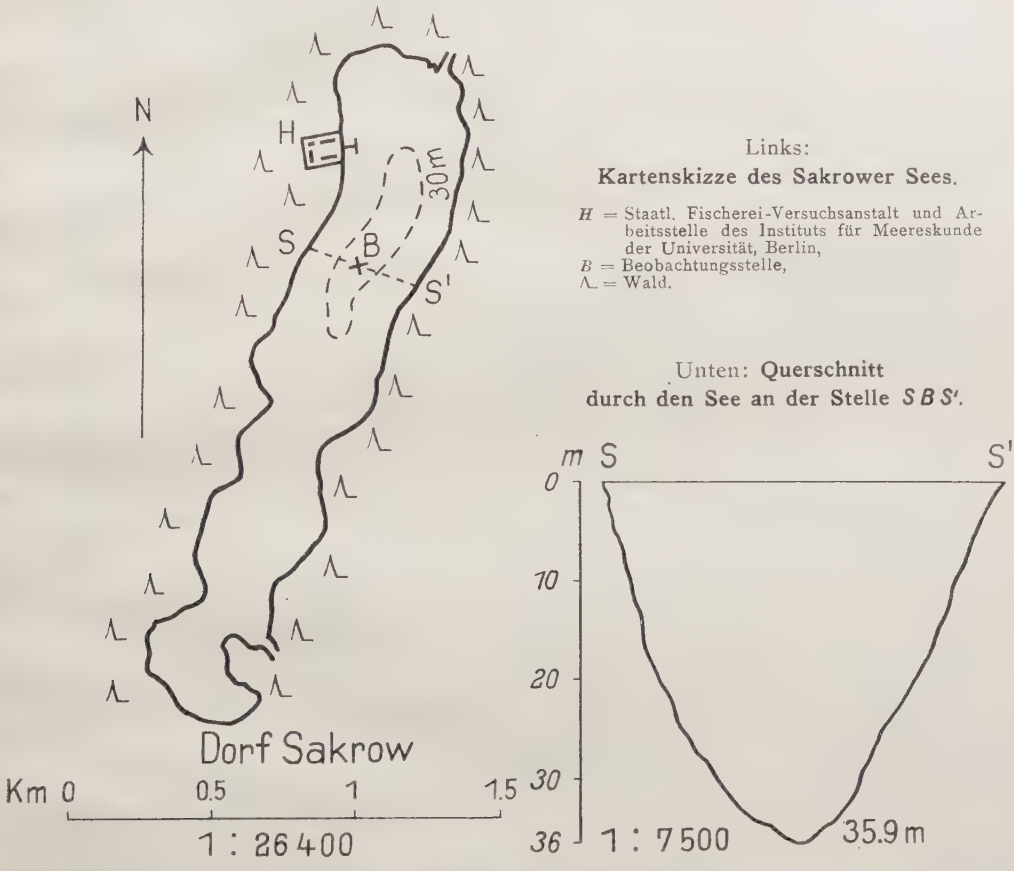
In ihr bedeutet Cu = Kupfer, Me = Messing.

Bei Hinzutreten von Feuchtigkeit an der Randstelle A entsteht ein Element, welches durch den Kontaktwiderstand der Schraubenklemmung kurzgeschlossen ist. Ist dieser Kontaktwiderstand sehr klein, also die Klemmung durchaus vollkommen, so wird das Element völlig kurzgeschlossen, und es tritt am Galvanometer keine meßbare Potentialdifferenz auf. Ist aber der Übergangswiderstand nur annähernd vollkommen und erreicht, etwa infolge einer dünnen Oxydschicht, die Größe von einigen $^1/_{100}$ Ohm, so tritt eine Potentialdifferenz in dem schon meßbaren Umfange, der der Thermokraft von einigen $^1/_{10}°$, also etwa 5 μ V, entspricht, auf. Aus dieser Überlegung ergibt sich, daß, wenn die Klemmung gleich bleibt, sich auch das Potential nicht ändert. Für diese Erklärung spricht, daß die Verschiebung der jüngeren gegen die älteren Eichungen in allen Fällen im gleichen Sinne auftrat. Es kann daher stets mit der Eichkurve gerechnet werden, die man durch die dem betreffenden Beobachtungszeitabschnitt zugeordnete Eichreihe erhalten hat.

d) Beschreibung der Beobachtungsorte.

Die Untersuchungen fanden im November—Dezember 1938 und im Mai—Juni 1939 auf dem Sakrower See bei Potsdam und im Juli 1939 in der Ostsee bei der Insel „Greifswalder Oie" statt.

Als Ausgangspunkt der Messungen am Sakrower See standen der Hafen und die Arbeitsräume des Instituts für Meereskunde zur Verfügung, die sich am Nordende des Sees auf dem Grundstück der Staatl. Fischerei-Versuchsanstalt befinden. Hier wurde auch der Schwimmrahmen in der Zeit der Nichtbenutzung verankert. Zu den Beobachtungen wurde der Schwimmrahmen mit dem Ruderboot an die Boje, die über der tiefsten Stelle des Sees verankert war, geschleppt und dort festgemacht. In Abb. 8 ist eine Kartenskizze des



Links:
Kartenskizze des Sakrower Sees.

H = Staatl. Fischerei-Versuchsanstalt und Arbeitsstelle des Instituts für Meereskunde der Universität, Berlin,
B = Beobachtungsstelle,
Λ = Wald.

Unten: **Querschnitt durch den See an der Stelle *S B S'*.**

Abb. 8.

Sakrower Sees gegeben. Im unteren Teile der Abbildung ist auch ein Schnitt durch den See an seiner tiefsten Stelle in der W—E-Richtung mitgeteilt.

Sowohl für die Temperatur- und Winduntersuchungen, als auch allgemein für Wärmehaushaltsuntersuchungen ist der Sakrower See keineswegs als repräsentativ für eine g r ö ß e r e Wasserfläche anzusehen. Seine geringe Breite von durchschnittlich 500 m in der Hauptwindrichtung W—E läßt ihn stärkstem Landeinfluß unterliegen. Besonders unangenehm ist noch, daß die fast überall mit Hochwald bestandenen Ufer die Aufstellung meteorolo-

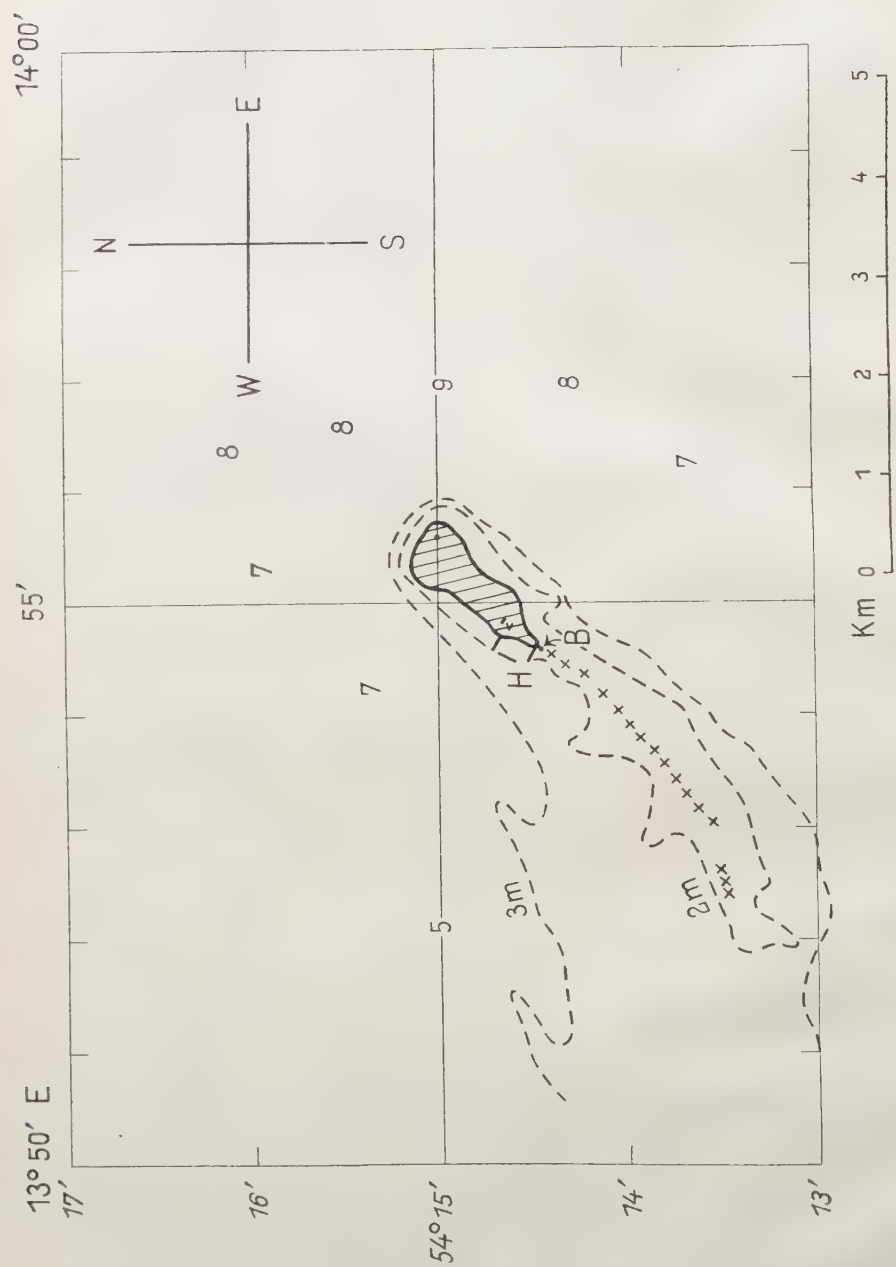


Abb. 9. **Kartenskizze der Insel „Greifswalder Oie".**
Die Zahlen um die Insel sind Wassertiefen in m. *H* = Hafen. *B* = Beobachtungsstelle.

gischer Kontrollstationen verhindern, so daß in einfacher Art nicht einmal die Änderungen der Temperaturverhältnisse am Ufer und daraus der für den See zu erwartende Landeinfluß bestimmt werden können.

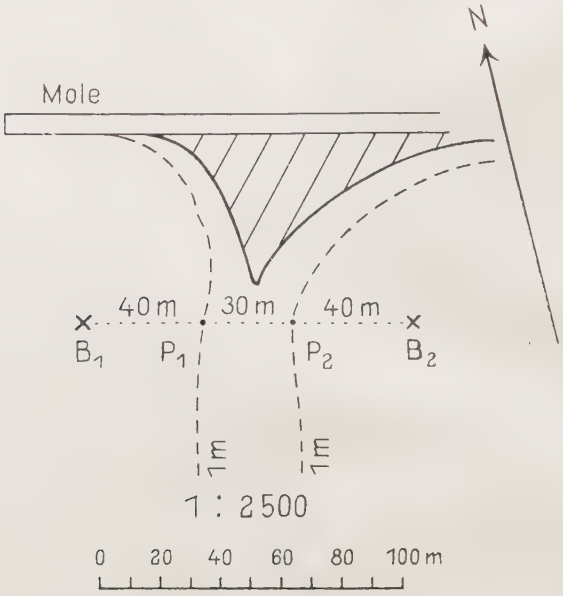
Die Untersuchungen auf dem Meere waren ursprünglich von einem Feuerschiff aus geplant. Wegen technischer Schwierigkeiten wurde schließlich auf Ausführung des ersten Planes verzichtet und die Greifswalder Oie als Standort gewählt. Der unmittelbare Beobachtungsort sollte so festgesetzt werden, daß der Rahmen mit Hilfe eines am Beobachtungsboot angebrachten Außenbordmotors in die Luvseite der Insel geschleppt und dort an einer Boje verankert werden konnte. Freundlicherweise wurde auch hierzu seitens der Deutschen Forschungs-Gemeinschaft aus ihren Beständen ein Außenbordmotor zur Verfügung gestellt. Schleppversuche auf dem Meere zeigten jedoch bald, daß die Geschwindigkeit, die ein Ruderboot mit diesem Außenbordmotor und mit dem Gerüst im Schlepp erreichen konnte, nur etwa 1 Knoten betrug. Es war also unmöglich, in hinreichend kurzer Zeit bei drohender Gefahr den Hafen zu erreichen. Glücklicherweise setzte mich die geographische Lage der Insel in Verbindung mit der Bodengestaltung des umgebenden Seegebietes in die Lage, die Messung von der SW-Ecke der Insel aus ohne Benutzung einer Boje durchzuführen. In Abb. 9 ist die Insel dargestellt. Man erkennt, daß von der 1,6 km langen und durchschnittlich 0,4 km breiten Insel nach SW eine Bank ausläuft, welche das „Oier Riff" genannt wird und deren Ansatzpunkt an der Insel in unmittelbarer Nähe des Hafens liegt. Diese Bank taucht bei normalem Wasserstand in etwa 50 m Entfernung von der SW-Mole des Hafens unter und zieht sich mit 0,5—1 m Tiefe noch 2 sm weit in südwestlicher Richtung unter Wasser entlang. Die Breite der Tiefenlinie von 1 m beträgt im Mittel 100 m, in der Nähe meines Beobachtungsortes aber nur etwa 30 m. Zur Durchführung der Messungen wurden auf jeder Seite des „Riffes" ein Eisenpfahl eingerammt, an welchem Schwimmrahmen und Boot mit einer 40 m langen Leine befestigt wurden. Benutzt wurde nur immer der leewärtige Pfahl. Die Vorteile dieses Verfahrens waren die folgenden:

1. Durch die Untiefen wurde der Seegang auf der Leeseite des „Riffes" erheblich gemildert. Es waren also auch bei größeren Windstärken, deren Ansprüchen der Schwimmrahmen auf offener See nicht gewachsen gewesen wäre, noch Messungen möglich.
2. Die Entfernung vom „Riff" zum Hafeneingang war hinreichend kurz, so daß bei jedem Wetter der Hafen noch erreicht werden konnte.
3. Die Nähe des trockenen Teils der Sandbank bot die Möglichkeit, den Schwimmrahmen, ohne ihn überhaupt erst in den Hafen schleppen zu müssen, nach Beendigung der Versuche auf Strand zu setzen und dort bis zur Wiederaufnahme der Untersuchungen an einem Pfahl zu verankern.

In Abb. 10 ist der Lageplan des Beobachtungsstandes gegeben. Diesen Vorteilen standen folgende Nachteile gegenüber:

1. Die Messungen ließen sich nur dann durchführen, wenn der Wind aus einem Sektor von NE über S bis WNW wehte und so ein nennenswerter Inseleinfluß nicht zu befürchten war.
2. Die Messungen der Wassertemperatur waren möglicherweise, besonders bei starker Einstrahlung, durch die Einwirkung des Riffes verfälscht, in dessen Lee sie stattfanden. Zwar lag das Floß selbst über etwa 2 m Wassertiefe (vgl. Abb. 10), doch reichten die 40 m, die es im günstigsten Falle vom Rand des Riffes entfernt war,

keineswegs aus, um eine dem offenen Meere entsprechende Temperaturbildung des Wassers vorzufinden. Mehrfach konnte ein Oberflächenstrom, der mit einer Geschwindigkeit von ¼—½ Knoten aus der Windrichtung kam, beobachtet werden; zu anderen Zeiten wieder wurde überhaupt kein Strom vom Boot aus festgestellt. Da die



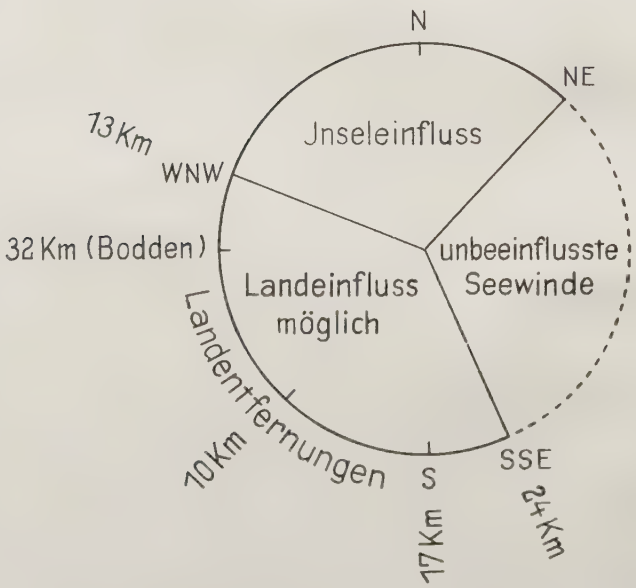


Abb. 10. Oben: **Lageplan des Beobachtungsstandes.**
P_1 und P_2 = Eisenpfähle. B_1 und B_2 = Beobachtungspunkte.

Unten: **Verteilung der Sektoren, bei denen Land- bzw. Inseleinflüsse zu erwarten sind.**

Temperaturmessungen nicht weiter als 30 cm in das Wasser hineinreichten, ließ sich eine etwaige Sprungschicht nicht feststellen. Gelegentlich mußten die Beobachtungen bei entsprechenden Windrichtungen (S—WSW) auch in nur wenigen Metern Abstand von der über Wasser liegenden Sandbank ausgeführt werden. Sie fanden dann über entsprechend geringerer Wassertiefe statt.

Es muß hierbei festgestellt werden, daß der Einfluß des Riffes sich im wesentlichen nur auf die Wassertemperatur erstrecken konnte, daß aber ein Einfluß des Riffes und der Sandbank auf die Lufttemperatur und die Windgeschwindigkeit, jedenfalls in den günstigen Windrichtungen, gänzlich unbedeutend waren. Ein Blick auf den Atlas zeigt nun, daß in den Richtungen WNW—S das Land durchschnittlich 20 km von der Insel entfernt ist. In den übrigen Richtungen von SSE—NE wird die Landentfernung schnell sehr groß. Die aus diesem Sektor kommenden Winde dürften frei von Landeinfluß sein.

Demnach sind also die Messungen von Temperatur und Wind bei Winden aus SSE—NE als repräsentativ für die Verhältnisse der Ostsee zu betrachten, während für die Winde aus SSE—WNW ein Landeinfluß immerhin möglich ist.

II. Theoretische Betrachtungen zum Problem der Windreibung und des Austausches.

a) Allgemeine Betrachtungen.

Durch die Überlegungen von *Guldberg* und *Mohn* wurde die Reibung zur Berechnung des elementaren Bewegungsvorgangs in der Atmosphäre mit herangezogen. Dabei wurden zunächst die Verhältnisse bei der Reibung starrer Körper auf der Unterlage zum Vorbild genommen. Einen der Wirklichkeit entsprechenderen Verlauf der Windgeschwindigkeitsverteilung über dem Erdboden erhielt man aber erst durch Einführung des Begriffs der inneren Reibung. Dessen Anwendung auf die Bewegungsgleichungen ergab u. a. ein kontinuierliches Geschwindigkeitsgefälle in der Nähe der Erdoberfläche. Die entsprechenden Formeln für die Atmosphäre hat *Exner* in Anlehnung an die Rechnungen *Ekmans* entwickelt. Die derart ermittelte Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit von der Höhe gilt aber nicht für die untersten, unmittelbar der Erdoberfläche anliegenden Luftschichten, wie *Hesselberg* und *Sverdrup* (3) schon 1915 feststellten. Der Begriff „unterste Luftschichten" wird dabei auf die zwischen der Höhe der gewöhnlichen Anemometeraufstellung (10—20 m) und der Erdoberfläche befindliche Schicht angewendet. Die Verhältnisse in dieser Schicht waren seither Gegenstand vieler Untersuchungen, wobei zur Annäherung der Geschwindigkeitsverteilung zunächst Potenzformeln zugrunde gelegt wurden. Man ging von der allgemeinen Annahme aus:

$u = a \cdot z^{1/p}$

u = Windgeschwindigkeit,

z = Höhe über der Erdoberfläche,

p = eine für einen gewissen Höhenbereich konstante Zahl.

Durch Messungen konnte bald ermittelt werden, daß p mit der Höhe veränderlich ist und nur in einem kleinen Höhenbereich als konstant ange-

sehen werden kann. Ferner zeigte sich eine Abhängigkeit von p von der Art der Bodenrauhigkeit. So fand *Hellmann* (4) für die Schicht unter 2 m Höhe $p = 4$ und leitete daraus für die Windgeschwindigkeitsverteilung in dieser untersten Schicht das Gesetz: $V : v = \sqrt[4]{H} : \sqrt[4]{h}$ ab. Für die Schicht zwischen 16 m und 250 m fand er jedoch $p = 5$, woraus $V : v = \sqrt[5]{H} : \sqrt[5]{h}$ folgt.

Ferner bestimmten *Schmidt* und in neuerer Zeit *Paeschke* (5) den Koeffizienten $1/p$ für verschiedene Bodenrauhigkeiten. Sie fanden übereinstimmend eine Abnahme von $1/p$ mit der Rauhigkeit, wie folgende kleine Tabelle zeigt:

Art der Rauhigkeit	Rübenland	Getreideland	Grasland hoch	Grasland niedrig	Brachland	Schnee
nach *Schmidt* $p =$	2,4	—	—	5,3	4,2	5,2
nach *Paeschke* $p =$	3,0	3,5	3,6	3,85	4,0	5,0

Windgeschwindigkeitsmessungen über Wasserflächen und insbesondere über dem Meere in dem geforderten Höhenbereich sind bisher sehr wenige ausgeführt worden. Der Grund liegt in den bedeutenden technischen Schwierigkeiten, die mit der Durchführung solcher Messungen verbunden sind. Als erstem gelang es wohl *Wüst* (2), durch Messungen von einem Beiboot aus die Verteilung der Windgeschwindigkeit über dem Meere zu ermitteln. Eine Auftragung der gemessenen Windgeschwindigkeiten über dem Logarithmus der zugehörigen Höhe ergab eine Kurve, in deren Verlauf in etwa 1 m Höhe bemerkenswerterweise eine Unstetigkeit auftrat. Unterhalb der Unstetigkeit ergaben sich kleinere Werte von $1/p$ als darüber, was für eine plötzliche Verminderung der Rauhigkeit an dieser Stelle spräche. Im Mittel beträgt bei *Wüsts* Messungen oberhalb der Unstetigkeit .... $p_1 = 4{,}57$,
unterhalb derselben $p_2 = 10{,}00$,
im Mittel: $p = 7{,}28$
und $p_1/p_2 = 0{,}457$.

Außer den Messungen von *Wüst* liegen bisher, allerdings in viel kleinerem Umfange, nur diejenigen *Shouljekins* am Schwarzen Meer (6) und *Montgomerys* in der Buzzards-Bay, U. S. A. (7), vor. Zwar sind neuerdings während der Golfstrom-Expedition 1938 mit Dampfer „Altair" auf dem nördlichen Atlantik vom Beiboot aus Windmessungen vorgenommen worden, doch steht deren Veröffentlichung noch aus.

Viel weiter ist man inzwischen in der theoretischen Behandlung des Windreibungsproblems gekommen. Vor allem waren es *Prandtl*, *Sverdrup* und *Rossby*, die das Thema mit Erfolg aufgriffen und weiterentwickelten. Im folgenden sollen nur die zum Verständnis der vorliegenden Arbeit notwendigen Formeln gegeben werden.

Nach *Newton* wird der Wert des vertikalen Geschwindigkeitsgefälles in einem über eine rauhe Unterlage streichenden Luftstrom durch die „Schubspannung" $\tau = \mu \frac{du}{dz}$, die als Impulstransport aufzufassen ist, gekennzeichnet. Für atmosphärische Verhältnisse ist der Koeffizient der mole-

kularen Reibung μ nach *Schmidt* (8) durch den Austauschkoeffizienten A zu ersetzen, so daß

$$\tau = A \frac{du}{dz} \tag{1}$$

wird. Mit Einführung des „Mischungsweges l" durch *Prandtl* als der mittleren Wegstrecke, die ein einzelnes Turbulenzelement bis zu seiner Auflösung zurückzulegen hat, gelingt es, indem wir den weiteren Ausführungen *Prandtls* folgen, den Austauschkoeffizienten als

$$A = \varrho\, l^2 \frac{du}{dz}$$

darzustellen; dies in (1) eingesetzt, ergibt:

$$\tau = \varrho\, l^2 \left(\frac{du}{dz}\right)^2. \tag{2}$$

Darin kann der Ausdruck

$$u_* = l \frac{du}{dz} \tag{2a}$$

für sich als „Schubspannungsgeschwindigkeit" betrachtet werden, denn er stellt die Geschwindigkeitsdifferenz längs des Mischungsweges l dar. Dadurch erhalten wir aus (2) für die Schubspannungsgeschwindigkeit den Ausdruck:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\varrho}}. \tag{3}$$

Eine sehr wichtige und oft benutzte Eigenschaft von u_* ist ihre Höhenkonstanz.

Zur praktischen Verwendbarkeit obiger Formeln bedarf es einer genauen Definition des Mischungsweges l. Auf Grund hydrodynamischer Untersuchungen ergab sich eine lineare Proportionalität zwischen dem Mischungsweg und dem Abstand von der Unterlage, so daß der Ansatz $l = \varkappa z$ Berechtigung hat.

Nach *Prandtl, Kármán, Nikuradse* u. a. kann man $\varkappa = 0{,}4$ annehmen, so daß:

$$l = 0{,}4\, z \tag{4}$$

wird. Für $z = 0$ würde demnach der Mischungsweg verschwinden. Aus experimentellen Untersuchungen ergab sich jedoch unmittelbar an der überströmten Fläche ein endlicher Betrag von l. Diesen Umstand berücksichtigt *Prandtl* durch einen Summanden z_0, indem er schreibt:

$$l = 0{,}4\,(z + z_0). \tag{4a}$$

z_0 stellt ein Maß der Rauhigkeit dar und ist mit der wirklichen, naturgegebenen Größe der Rauhigkeit linear verknüpft. *Nikuradse* stellte z. B. für eine Sandoberfläche fest: $z_0 = 1/30\, h_0$, wobei h_0 der mittlere Durchmesser der Sandkörner ist. Nach *Paeschke* wiederum gilt für bewachsenen Boden $z_0 = \frac{1}{7{,}35}\, h_0$. Für h_0 ist hierbei die jeweilige Länge der Bewachsung einzusetzen, also z. B. die Länge der Grashalme einer Wiese, die Höhe der Stoppeln eines Brachfeldes usw. Für die Oberfläche des Ozeans bestimmte *Sverdrup* (9) $z_0 = 1/40\, h_w$, wo h_w die Wellenhöhe bei der in 8 m Höhe gemessenen Windgeschwindigkeit w darstellt. *Sverdrup* teilt folgende Tabelle mit:

w_{8m} m/sec	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
z_0 cm	0,75	2,0	3,5	6,0	8,75	11,5.

Unter Zusammenfassung der Gl. (4a) mit dem Ansatz

$$u_* = l \frac{du}{dz}$$

erhalten wir:

$$\frac{du}{dz} = \frac{u_*}{0{,}4\,(z + z_0)}.$$

Die Integration dieser Gleichung liefert das bekannte logarithmische Gesetz der Geschwindigkeitsverteilung für die unterste Schicht der Atmosphäre. Wir finden:

$$u = \frac{u_*}{0{,}4} \int_0^z \frac{1}{z + z_0} dz$$

$$u = \frac{u_*}{0{,}4} \left[ln\,(z + z_0) - ln\, z_0 \right] + C. \tag{5}$$

Aus der Randbedingung $u = 0$ für $z = 0$ ergibt sich $C = 0$. Unter Verwendung *Briggscher* Logarithmen erhalten wir:

$$u = 5.75\, u_* \log \frac{z + z_0}{z_0}. \tag{5a}$$

Sobald die bisher abgeleiteten Gleichungen auch zur Berechnung der Windgeschwindigkeitsverteilung über Wasserflächen herangezogen werden sollen, erheben sich Zweifel, ob die Welligkeit der Wasseroberfläche auch als Rauhigkeit im Sinne der Bodenrauhigkeit aufgefaßt werden kann. Besonders eingehend befaßten sich *Sverdrup*, *Rossby* und *Montgomery* mit diesen Fragen. Nach der Darstellung *Rossbys* (10) kann man annehmen, daß wenigstens bei niedrigen Windgeschwindigkeiten, unmittelbar über der Wasseroberfläche eine dünne, laminare Grenzschicht (laminar boundary layer) existiert. Das Kennzeichen einer solchen Schicht wäre ein stark verminderter Austausch und dadurch das Vorhandensein einer annähernd laminaren Strömung. Man kann weiterhin annehmen, daß die Dicke dieser Grenzschicht mit wachsender Windgeschwindigkeit abnimmt, um schließlich ganz zu verschwinden. Zum Schluß würde dann die Wasseroberfläche den Charakter einer rauhen Grenzfläche annehmen, deren Rauhigkeit von der Windgeschwindigkeit abhängt. Ausgehend von dem Gedanken, daß die Geschwindigkeitsverteilung über einer laminaren Grenzschicht ähnlich der über glatten Flächen sein müßte, benutzt *Rossby* die Formel von *Kármán* (11) für die Strömung über einer ebenen Platte:

$$\frac{u}{\sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}} = 5{,}5 + \frac{1}{\varkappa} ln \frac{z}{\nu} \sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}} \tag{6}$$

oder

$$\frac{u}{\sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}} = 5{,}5 + 5{,}75 \log \frac{z}{\nu} \sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}.$$

Darin bedeuten $\sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}$ die höhenkonstante Schubspannungsgeschwindigkeit, $\varkappa = 0{,}4$ und ν die kinematische Zähigkeit. Durch Einführung der *Reynoldsschen* Zahl

$$r = \frac{z \cdot u}{\nu} \tag{7}$$

sowie eines dimensionslosen Widerstandskoeffizienten

$$\gamma = \frac{1}{u}\sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}, \tag{7a}$$

der nun im Gegensatz zur Schubspannungsgeschwindigkeit höhenabhängig ist, nimmt Gl. (5) die Form an:

$$\frac{1}{\gamma} + 5{,}75 \log \frac{1}{\gamma} = 5{,}5 + 5{,}75 \log r. \tag{8}$$

Unter Benutzung der Gleichungen 6—8 ist es nun möglich, aus einem vorgegebenen Wert der Windgeschwindigkeit u_1 in der Höhe z_1 die theoretische Windgeschwindigkeit u_2 in einer anderen Höhe z_2 zu berechnen. Der Vergleich der so errechneten Windgeschwindigkeit in z_2 mit der dort beobachteten läßt eine Prüfung der Annahme einer laminaren Grenzschicht zu. Der Weg ist folgender: Mit der beobachteten Windgeschwindigkeit u_1 in der Höhe z_1 gehen wir in Gl. 7 ein und berechnen r_1.

Mit r_1 läßt sich aus Gl. 8 auf graphischem Wege γ_1 ermitteln. Aus Gl. 7a berechnen wir mit Hilfe von γ_1 den höhenkonstanten Wert $\sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}$. Nun läßt sich die Windgeschwindigkeit u_2 in einer beliebigen Höhe z_2 aus Gl. 6 ermitteln.

Eine noch sinnfälligere Methode zur Prüfung der Existenz einer laminaren Grenzschicht besteht in der Benutzung einer graphischen Darstellung der Gl. 8. Aus gemessenen Werten der Windgeschwindigkeit in der Höhe z_1 wird wie oben der Wert von $\sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}$ bestimmt.

In einer anderen Höhe z_2 wird nun mit Hilfe der dort gemessenen Windgeschwindigkeit u_2 und des Wertes von $\sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}$ sowohl r_2 aus Gl. 7 als auch γ_2 aus Gl. 7a berechnet. Der Punkt (r_2, γ_2) muß, falls eine laminare Grenzschicht besteht, in der graphischen Darstellung der Funktion 8 der Kurve angehören.

Eine Bestimmung des Rauhigkeitsmaßes z_0 kann nach *Rossby* durch Benutzung des logarithmischen Geschwindigkeitsverteilungsgesetzes vorgenommen werden.

Gl. 5a lautet:

$$u = 5{,}75\sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}} \log \frac{z + z_0}{z_0}.$$

Aus zwei gleichzeitigen Windgeschwindigkeitsbeobachtungen in verschiedenen Höhen z_1 und z_2 folgt:

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{\log (z_2 + z_0) - \log z_0}{\log (z_1 + z_0) - \log z_0}$$

oder

$$\log z_0 = \frac{u_2/u_1 \log (z_1 + z_0) - \log (z_2 + z_0)}{u_2/u_1 - 1}. \tag{9}$$

Da nach *Sverdrup* in nicht allzu großer Nähe der Wasseroberfläche und bei normaler Windstärke z_0 klein gegen z ist, kann es in den Klammerausdrücken vernachlässigt werden, und es folgt:

$$\log z_0 = \frac{u_2/u_1 \log z_1 - \log z_2}{u_2/u_1 - 1}. \tag{9a}$$

b) Zusammenhang des Austauschkoeffizienten mit dem Schubspannungsgesetz.

Bereits in der Ableitung des Ansatzes für die Schubspannungsgeschwindigkeit u (Gl. 2) gingen wir mit *Prandtl* von der Beziehung $A = \varrho\, l^2 \frac{du}{dz}$ aus. Darin stellte $l \frac{du}{dz} = u_*$ die Schubspannungsgeschwindigkeit dar, die für alle Höhen denselben Wert haben muß. Danach läßt sich offenbar $A = \varrho\, l\, u_*$ schreiben, und wegen $l = 0{,}4\ (z + z_0)$ folgt:

$$A = \varrho\, u_*\, 0{,}4\, (z + z_0). \tag{10}$$

Aus dieser Gleichung folgt:

1. Eine lineare Zunahme des Austauschkoeffizienten mit der Höhe.
2. In einer bestimmten Höhe Abhängigkeit des Austauschkoeffizienten von der Windgeschwindigkeit nach Maßgabe der Gleichung 5a.

Man kann diese beiden Folgerungen nach *Lettau* (12) auch in folgenden Gleichungen zusammenfassen:

1. $A = \varrho\, (a_0 + a_1 z)$
2. $A = \varrho\, a\, u$

Aus *Paeschkes* Windmessungen wurden auf diesem Wege für verschiedene Höhen und Windgeschwindigkeiten durch *Lettau* (12) Werte für A ermittelt, die, zusammen mit Werten anderer Autoren, zu Vergleichszwecken hier wiedergegeben werden sollen:

Nach *Lettau* ergab sich

für $u_{500\,cm} = 1\ m/sec$ $A_{500\,cm} = 1{,}5$
$u_{500\,cm} = 5\ m/sec$ $A_{500\,cm} = 7{,}5$
und $A_{100\,cm} = 1{,}46$ } über einer Schneefläche,

$u_{500\,cm} = 1\ m/sec$ $A_{500\,cm} = 2{,}2$
$u_{500\,cm} = 5\ m/sec$ $A_{500\,cm} = 11{,}2$
und $A_{100\,cm} = 1{,}35$ } über Rübenland.

Nach *Schmidt* (8) ergab sich nach gänzlich verschiedenen Berechnungsmethoden:

$A_{1-3\,m} = 0{,}14$ über einer Schneedecke,

$A_{10\,cm} = 0{,}1$
$A_{80\,cm} = 0{,}8$
$A_{240\,cm} = 2{,}4$ } über einem Gerstenacker,

$A = 0{,}03$ bis $0{,}9$ knapp über einem Feld bei besonders stabiler Schichtung,

$A = 0{,}006$.

Aus einer neueren Arbeit von *U. Roll* (13) lassen sich folgende Austauschwerte für die Luftschicht unmittelbar über der Meeresoberfläche entnehmen:

Zeit MEZ	Höhe		
	0,5 m	5 m	
17.45	0,00019	0,74	
19.45	0,00025	6.50	im August
24.00	0.00022	1,46.	

Ferner an einem anderen Tage im Juni

für 2,5 m Höhe $A = 0{,}075$.

c) Beeinflussung des Windprofils und des Austausches durch thermische Schichtung.

Den Einfluß thermischer Schichtung auf die Geschwindigkeitsverteilung mit der Höhe hat vor allem *Sverdrup* behandelt, gestützt auf eigene Beobachtungen in Spitzbergen (14) und (15). Im Anschluß daran entwickelte *Lettau* (12) eine sehr praktische Näherungsformel zur Berechnung jenes Einflusses. Er verglich ein adiabatisch aufgebautes Medium mit einem solchen in stabilem Gleichgewicht und legte beiden Medien die gleiche Schubspannungsgeschwindigkeit zugrunde. Er setzte also:

$$l_{ab.}\left(\frac{du}{dz}\right)_{ab.} = l_s\left(\frac{du}{dz}\right)_s = u_*.$$

Als Ergebnis seiner sehr umfangreichen Rechnungen erhält *Lettau* schließlich folgende Näherungsformel:

$$u_s = u + \frac{p}{p+1} \cdot \frac{\varkappa c^2}{2 u_*} (z + z_0)^2. \qquad (11)$$

Darin bedeuten: u_s = Windgeschwindigkeit im stabilen Falle,
u = Windgeschwindigkeit im adiabatischen Falle.
p = Exponent der Windgeschwindigkeitsverteilung nach der Gleichung

$$u = a \cdot z^{\frac{1}{p}},$$

$$c^2 = \beta \cdot Ri \left(\frac{du}{dz}\right)_s^2 = \beta \frac{g}{T} \frac{d\Theta}{dz},$$

wobei β aus $\frac{l_{ab}}{l_s} = \sqrt{1 + \beta \cdot Ri} = \frac{\left(\frac{du}{dz}\right)_s}{\left(\frac{du}{dz}\right)_{ab}}$ zu nehmen ist.

Sverdrup erhielt im Mittel für $\beta = 11{,}0$.

Diese Formeln gelten nur, wenn die als Stabilitätskriterium bekannte *Richardsonsche* Zahl:

$$Ri = \frac{g}{T} \frac{d\Theta}{dz} \Big/ \left(\frac{du}{dz}\right)^2$$

kleine Werte aufweist, also für kleine Stabilitäten, weil sonst die auftretenden großen Temperaturunterschiede Strahlungsströme von Schicht zu Schicht hervorrufen, die nicht mehr vernachlässigt werden dürfen.

III. Meßergebnisse.

Das Gesamtmaterial umfaßt 34 Beobachtungstage = 242 Serien. Davon entfallen auf den Sakrower See 19 Beobachtungstage mit 131 Serien, auf die Ostsee 15 Beobachtungstage mit 111 Serien. Infolge der durch den Krieg verursachten außergewöhnlichen Umstände mußte leider auf eine Bearbeitung des gesamten Beobachtungsmaterials verzichtet werden. So konnten die Ergebnisse der Temperaturmessungen nur übersichtsweise behandelt werden, während von einer Bearbeitung der Messungen des Strahlungsumsatzes an der Wasseroberfläche gänzlich Abstand genommen werden mußte. Die Verwertung des gesamten Materials unter besonderer Berücksichtigung der zuletzt genannten Messungen wird Gegenstand einer späteren

Arbeit sein; im Anhang ist aber eine Zusammenstellung des gesamten Beobachtungsmaterials der Wind- und Temperatur- wie Feuchtemessungen vom Sakrower See und an der Ostsee (Greifswalder Oie) gegeben worden. Zu den folgenden Betrachtungen wurden nur die in bezug auf Wind- und Temperaturverhältnisse charakteristischen Serien ausgewertet; sie sind in den Tabellen 1 und 1a übersichtlich zusammengestellt.

6 Beobachtungstage des Sakrower Sees und 7 Beobachtungstage der Ostsee bilden, soweit nicht anders vermerkt, die Grundlage der folgenden Rechnungen. Die Tabellen 1 und 1a enthalten die Beobachtungsergebnisse von Temperatur und Windgeschwindigkeit der Beobachtungstage 8, 12, 13, 14, 16, 17 mit 51 Serien für den Sakrower See, sowie der Beobachtungstage 20, 22, 23, 24, 27, 30, 31 mit 56 Serien für die Ostsee. Ferner lassen sich daraus alle für die Beurteilung der Messungen wichtigen Daten, wie Himmelsbedeckung, Wolkenart, bes. Wettererscheinungen, Temperaturunruhe usw.,

Tabelle 2.

Einteilung in Windgeschwindigkeits-Gruppen.

Die Zahlenkolonnen unterhalb der Kennbuchstaben bezeichnen die Beobachtungstage und die Serien. Z. B. bedeutet 8,2: 8. Beobachtungstag, Serie 2

1. Sakrower See.

Gruppen			
a 2—3 m/sec	*b* 3—4 m/sec	*c* 4—5 m/sec	*d* 5—6 m/sec
8,2	8,1	12,2	12,5
8,4	8,3	12,3	14,11
8,5	12,1	12,4	
13,2	14,7	14,12	
13,8	14,8	17,4	
13,9	13,6	17,6	
13,10	13,7		
14,4	16,3		
14,5	16,4		
14,6			
16,6			
17,1			
17,2			
13 Serien	9 Serien	6 Serien	2 Serien

2. Ostsee.

Gruppen					
a' 2—3 m/sec	*b'* 3—4 m/sec	*c'* 4—5 m/sec	*d'* 5—6 m/sec	*e'* 6—8 m/sec	*f'* > 8 m/sec
20,1	24,1	22,5	24,5	23,1	31,9
20,4	27,4	23,6	27,1	24,6	31,10
27,3	30,5	24,2	27,2	24,7	
27,6	31,4	30,6	30,10	24,9	
30,1	31,5	30,7	31,1	30,11	
30,2		30,8	31,2	30,12	
		30,9	31,3	31,7	
				31,8	
6 Serien	5 Serien	7 Serien	7 Serien	8 Serien	2 Serien

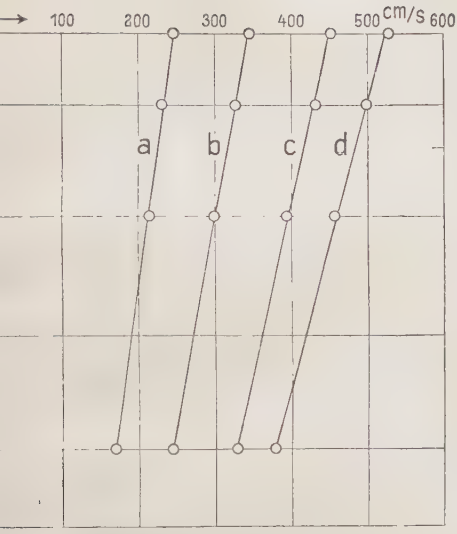


Abb. 11 a. **Vertikale Verteilung der Windgeschwindigkeit über dem Sakrower See** (im halblogarithmischen Koordinatensystem).

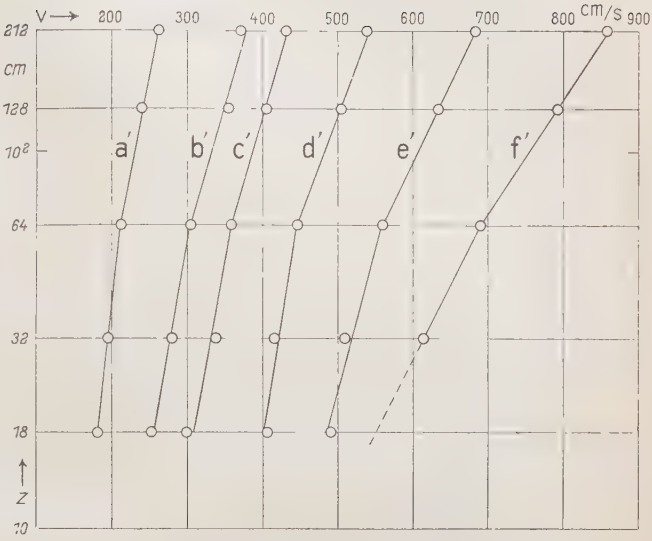


Abb. 11 b. **Vertikale Verteilung der Windgeschwindigkeit über der Ostsee (Insel Oie)** (im halblogarithmischen Koordinatensystem).

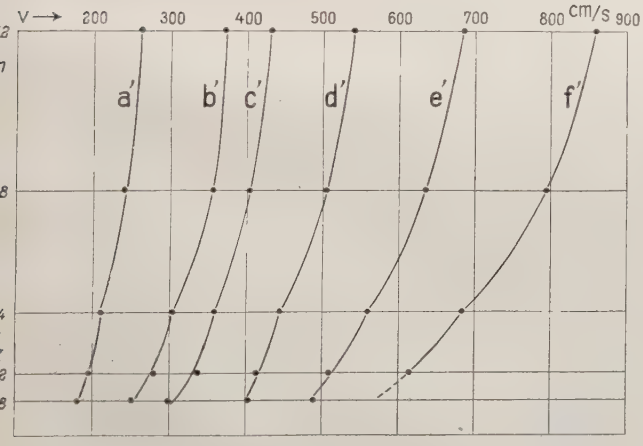


Abb. 11 c. **Vertikale Verteilung der Windgeschwindigkeit über der Ostsee (Insel Oie).** (im linear geteilten Koordinatensystem).

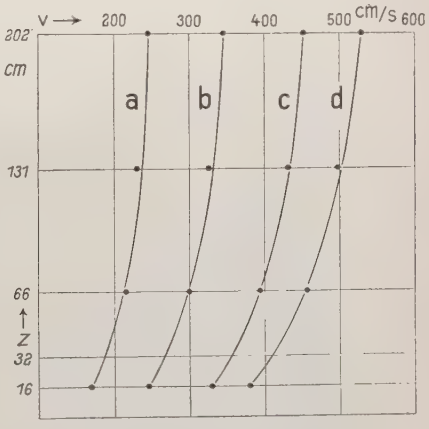


Abb. 11 d. **Vertikale Verteilung der Windgeschwindigkeit über dem Sakrower See** (im linear geteilten Koordinatensystem).

Tabelle 3.

Windgeschwindigkeitsmittel der Gruppen.

Windgruppen	v_1 202 cm	v_2 131 cm	v_3 66 cm	v_4 32 cm	v_5 16 cm	
	cm/sec	cm/sec	cm/sec	cm/sec	cm/sec	Sakrower See
a 2—3 m/sec	247	231	216	—	170	
b 3—4 m/sec	346	327	299	—	244	
c 4—5 m/sec	453	432	394	—	329	
d 5—6 m/sec	529	499	457	—	379	
Windgruppen	v_1 212 cm	v_2 128 cm	v_3 64 cm	v_4 32 cm	v_5 18 cm	
a' 2—3 m/sec	263	240	213	196	182	Ostsee (Insel Oie)
b' 3—4 m/sec	372	355	306	280	(252)	
c' 4—5 m/sec	432	406	359	338	(299)	
d' 5—6 m/sec	540	505	446	416	406	
e' 6—8 m/sec	684	634	560	508	491	
f' > 8 m/sec	858	794	690	614	—	

entnehmen. Die Messungen der Windgeschwindigkeit in 32 cm Höhe sind teilweise mit Vorbehalt aufzunehmen (fett gesetzte Werte), da sie von einem aus ungeklärten Gründen falsch anzeigenden Anemometer stammen, dessen Werte durch Vergleich mit Aufzeichnungen eines zeitweise in gleicher Höhe befindlichen anderen Anemometers reduziert wurden.

Zwecks besserer Übersicht wird nun eine Zusammenfassung der Windgeschwindigkeitsserien in 4 Windgruppen für den Sakrower See und 6 Windgruppen für die Ostsee vorgenommen. Tabelle 2 zeigt die Verteilung der einzelnen Serien auf die Windgruppen, Tabelle 3 gibt die Mittelwerte der Windgeschwindigkeitsverteilung für sämtliche Windgruppen des Sakrower Sees und der Ostsee. In den Abb. 11a und 11b ist die mittlere Windgeschwindigkeitsverteilung für jede Windgruppe in einem halblogarithmischen Koordinatensystem, in den Abb. 11c und 11d in einem linear geteilten Koordinatensystem graphisch zur Darstellung gebracht.

1. Ergebnisse der Windgeschwindigkeitsmessungen.

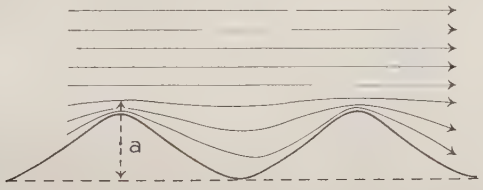
a) Theoretische Betrachtungen.

Die Auftragung der Windgeschwindigkeiten über den Logarithmen der zugehörigen Höhen läßt erkennen, daß die Windgeschwindigkeitsverteilung weitgehend das logarithmische Gesetz befolgt. Nur auf dem Meere erscheint

in 64 cm Höhe, immer wiederkehrend, eine Unstetigkeit im Kurvenverlauf, die auf besondere Verhältnisse in diesem Höhenbereich schließen läßt. Für das Meer ergibt eine Berechnung von p aus der Annahme $v = z^{\frac{1}{p}}$ (vgl. Kap. II, Abschn. a) für den oberen Kurventeil zwischen 212 und 64 cm Höhe im Mittel auf 78 Serien $p_1 = 6{,}2$, für den unteren Kurventeil $p_2 = 8{,}86$; im Mittel also $p_m = 7{,}53$ und $p_1/p_2 = 0{,}700$.

Für den Sakrower See erscheint im Meßbereich bemerkenswerterweise keine derart markante Unstetigkeit in der Geschwindigkeitsverteilung. Wir erhalten als Mittel aus 40 Serien für den gesamten Höhenbereich $p = 7{,}48$, eine Zahl, die auffallend dem Gesamtmittel p_m des Meeres gleicht. Die gefundene Windgeschwindigkeitsverteilung über dem Meere befindet sich im Einklang mit den Meßergebnissen *Wüsts*, der, allerdings in 1 m Höhe, ebenfalls eine Unstetigkeit im Kurvenverlauf fand. Aus seinen Werten ergab sich, wie schon erwähnt wurde, $p_1 = 4{,}57$, $p_2 = 10{,}00$, $p_m = 7{,}28$ und $p_1/p_2 = 0{,}457$. Die Höhe jener Unstetigkeit ist jedoch nur ungefähr anzugeben, da sie naturgemäß von der vertikalen Anordnung der Beobachtungspunkte abhängt.

Wie bereits *Rossby* (10) an Hand der Messungen *Wüsts* gezeigt hat, kann die Unstetigkeit nicht die Folge einer Temperaturinversion in der betreffenden Höhe sein, da die beobachtete Temperaturverteilung dieser Annahme widerspricht. Das Fehlen der Unstetigkeit in den Messungen über dem Sakrower See sowie die weitere Feststellung *Rossbys*, daß die Werte der Windgeschwindigkeit im unteren Kurventeil den durch die Formel *Kármáns* (Gl. 6) vorgeschriebenen Werten weitgehend entsprechen, lassen dynamische Ursachen vermuten. Betrachten wir die durch den Einfluß des Windes zur Wellenbewegung angeregte Meeresoberfläche, so wird sich bei mittleren Windstärken folgendes Strömungsbild der Luft über der Meeresoberfläche einstellen:



Wir befinden uns dabei in Übereinstimmung mit den Ergebnissen einer Arbeit von *H. Motzfeld* (16), der über nicht zu steilen Wellen eine solche Stromlinienverteilung fand. Von dem Augenblick an, wo ein Überkämmen der Wellen stattfindet, stellen sich allerdings Unregelmäßigkeiten im Strömungsfeld der Luft dicht über den Wellen ein. Da ein solcher Fall bei meinen Messungen infolge der Schutzwirkung der vorgelagerten unterseeischen Sandbank nie vorlag, brauchen wir hier nicht näher darauf einzugehen.

In größerer Höhe über den Wellen wird man die Luftströmung durch geradlinige Stromlinien darstellen können. Die zugrunde zu legende Rauhigkeit wird von Wellenhöhe und Wellenform abhängen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die derart festgelegte Rauhigkeit nicht etwa mit der eines Wellbleches oder einer gewellten Ebene zu vergleichen ist, da sich die Meereswellen im Gegensatz zu den erstarrten Wellen einer Ebene in Bewegung befinden. Die Wirkung der fortschreitenden Bewegung der Meereswellen wird in einer Verminderung der Windgeschwindigkeit relativ zum Wellenkamm bestehen. Daß dabei infolge der mit Annäherung an die Meeres-

oberfläche sowieso kleiner werdenden Windgeschwindigkeit in einer gewissen Höhe die Windgeschwindigkeit gleich der Wellengeschwindigkeit wird, ist wenigstens für die Ostsee kaum zu erwarten, wie die folgende kleine Tabelle zeigt:

$v_{2\,m}$	$v_{0,6\,m}$	Wellenlänge bei		Wellengeschwindigkeit bei	
		E-Wind	W-Wind	E-Wind	W-Wind
7 m/sec	5,56 m/sec	7 m	5 m	3,30 m/sec	2,79 m/sec
5 m/sec	4,00 m/sec	5 m	4 m	2,79 m/sec	2,50 m/sec
3 m/sec	2,58 m/sec	3 m	3 m	2,16 m/sec	2,16 m/sec

Die Wellengeschwindigkeit c wurde dabei nach der Formel $c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$, die für Wellenlängen kleiner als die doppelte Meerestiefe gilt, berechnet. Die zu den entsprechenden Windgeschwindigkeiten gehörenden Wellenlängen gelten für das Seegebiet um die Greifswalder Oie und wurden von mir nach dem Augenschein geschätzt. Die zusammengehörigen Windgeschwindigkeiten der Höhen 2 m und 0,6 m wurden eigenen Messungen entnommen.

Unterhalb einer gewissen Höhe a, welche die Wellenhöhe um ein geringes übersteigen dürfte, werden die Stromlinien mehr und mehr dem Wellenprofil folgen, um sich zuletzt ganz der Wellenform anzupassen. Gleichfalls kann unterhalb derselben Höhe nicht mehr die vorhin beschriebene, durch die Wellenhöhe verursachte Rauhigkeit maßgebend sein, sondern nun gilt wieder die Rauhigkeit einer nahezu glatten Wasseroberfläche, wie sie z. B. bei nicht zu großen Binnenseen auftritt. Da eine Änderung der Rauhigkeit auch eine Änderung der Windgeschwindigkeitsabnahme bedingt, muß notwendigerweise die Kurve der Windgeschwindigkeitsverteilung über dem Meere in der Höhe a eine Unstetigkeit aufweisen. Oberhalb der Unstetigkeit muß der Anstieg der Kurve einer größeren, unterhalb derselben einer geringeren Rauhigkeit entsprechen. Wenn wir derart die Kurve der Windgeschwindigkeitsverteilung über dem Meere, entsprechend der Annahme zweier verschiedener Luftströmungen, in einen oberen und einen unteren Teil zerlegen, erheben sich folgende Forderungen:

1. Für den oberen Teil der Kurve.
   a) Werte des Rauhigkeitsmaßes z_0 in der Größenordnung $x \cdot 10^{-1}$ cm, entsprechend den Ergebnissen *Rossbys*.
   b) Keine besondere Übereinstimmung der Windgeschwindigkeitsverteilung mit der durch *Kármáns* Formel (Gl. 6) geforderten.
2. Für den unteren Teil der Kurve.
   a) Wesentlich kleinere Werte für z_0, die möglicherweise mit denjenigen des Sakrower Sees übereinstimmen.
   b) Gute Übereinstimmung mit der Geschwindigkeitsverteilung über glatten Flächen nach der Formel *Kármáns*.

Ferner muß allgemein die Verteilung des Austausches in der Höhe a ebenfalls eine Unstetigkeit aufweisen, derart, daß unterhalb derselben die Abnahme der Austauschwerte gegen die Wasseroberfläche schneller erfolgt als darüber.

Zur Beurteilung der Ergebnisse, die aus der folgenden Auswertung meiner Messungen zu erwarten sind, ist zu berücksichtigen, daß durch die angewandte Meßmethode die soeben geschilderten Verhältnisse nur unvollständig erfaßbar sind. Der Schwimmrahmen und mit ihm die Anemometer machen wohl die vertikale, nicht aber die fortschreitende Bewegung der Wellen mit, so daß die zwischen der Wasseroberfläche und der Höhe a befestigten Anemometer sich einmal in der Unterströmung, das andere Mal in der Oberströmung befinden und somit einen mittleren Zustand zwischen beiden Strömungen wiedergeben.

b) Berechnung des Rauhigkeitsmaßes z_0.

Die Berechnung der z_0-Werte erfolgte nach Gleichung 9a.

$$\log z_0 = \frac{u_2/u_1 \log z_1 - \log z_2}{u_2/u_1 - 1}.$$

Die Ergebnisse finden wir in Tabelle 4. Darin bedeuten: $z_0{}^I$ die aus dem oberen Kurventeil, $z_0{}^{II}$ die aus dem unteren Kurventeil berechneten Rauhigkeitslängen. Auf dem Meere ist $z_0{}^{II}$ mit einer Ausnahme für

Tabelle 4.

Rauhigkeitsmaß z_0, berechnet für sämtliche Windgruppen.

1. Sakrower See.

Windgruppe	v_1 cm/sec	Oberer Teil $z_0{}^I$ cm	Unterer Teil $z_0{}^{II}$ cm
m/sec			
a (2—3)	247	$5{,}97 \cdot 10^{-2}$	$5{,}97 \cdot 10^{-2}$
b (3—4)	346	$3{,}72 \cdot 10^{-2}$	$3{,}72 \cdot 10^{-2}$
c (4—5)	453	$1{,}93 \cdot 10^{-2}$	$1{,}93 \cdot 10^{-2}$
d (5—6)	529	$2{,}67 \cdot 10^{-2}$	$2{,}67 \cdot 10^{-2}$
		2. Ostsee.	
m/sec			
a' (2—3)	263	$2{,}37 \cdot 10^{-1}$	$5{,}80 \cdot 10^{-2}$
b' (3—4)	372	$2{,}93 \cdot 10^{-1}$	$1{,}97 \cdot 10^{-2}$
c' (4—5)	432	$2{,}41 \cdot 10^{-1}$	$0{,}54 \cdot 10^{-2}$
d' (5—6)	540	$3{,}48 \cdot 10^{-1}$	$0{,}31 \cdot 10^{-2}$
e' (6—8)	684	$3{,}38 \cdot 10^{-1}$	$9{,}17 \cdot 10^{-2}$
f' (>8)	858	$4{,}72 \cdot 10^{-1}$	$10{,}20 \cdot 10^{-2}$

$v_1 = 858$ cm/sec um ein bis zwei Größenordnungen kleiner als $z_0{}^I$ und entspricht ungefähr den Werten des Sakrower Sees. Die zu erwartende Zunahme der Rauhigkeitslänge mit wachsender Windgeschwindigkeit ist bei den $z_0{}^I$-Werten der Ostsee deutlich zu erkennen, wogegen die $z_0{}^{II}$-Werte sowie die $z_0{}^I = z_0{}^{II}$-Werte des Sakrower Sees eine solche stetige Zunahme nicht bestätigen. Vielmehr hat es den Anschein, als ob mit zunehmender Windgeschwindigkeit jene Werte zuerst kleiner werden, um dann plötzlich wieder zu wachsen. Die $z_0{}^I$-Werte des Meeres befinden sich der Größenordnung nach in Übereinstimmung mit dem von *Rossby* aus den Messungen *Wüsts* und

Shouljekins wiederholt gefundenen Wert $z_0 = 0{,}6$ cm. Die von *Sverdrup* auf Grund theoretischer Überlegungen gefundenen Werte von z_0 (siehe Kap. II.) können dagegen nicht bestätigt werden.

c) Berechnung des Wertepaares (r_2, γ_2) nach dem Verfahren Rossbys.

Zur Prüfung der in Kap. III, Abschn. 1a ausgesprochenen Vermutung, die Struktur der Unterströmung werde eine weitgehende Übereinstimmung mit der Geschwindigkeitsverteilung über glatten Flächen aufweisen, wurde die Berechnung des Wertepaares (r_2, γ_2) nach dem im Kap. II beschriebenen Vorgang für sämtliche Windgruppen vorgenommen. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse niedergelegt. Die Zeilen der Windgruppen a'_1, b'_1, c'_1 usw. geben die Berechnung von r_2 und γ_2 aus der Windgeschwindigkeitsverteilung des oberen Kurventeils zwischen 212 und 64 cm Höhe wieder, während a'_2, b'_2, c'_2 usw. dieselbe Berechnung für den unteren Kurventeil zeigen. In Abb. 12 sind alle berechneten Punkte (r_2, γ_2) zusammen

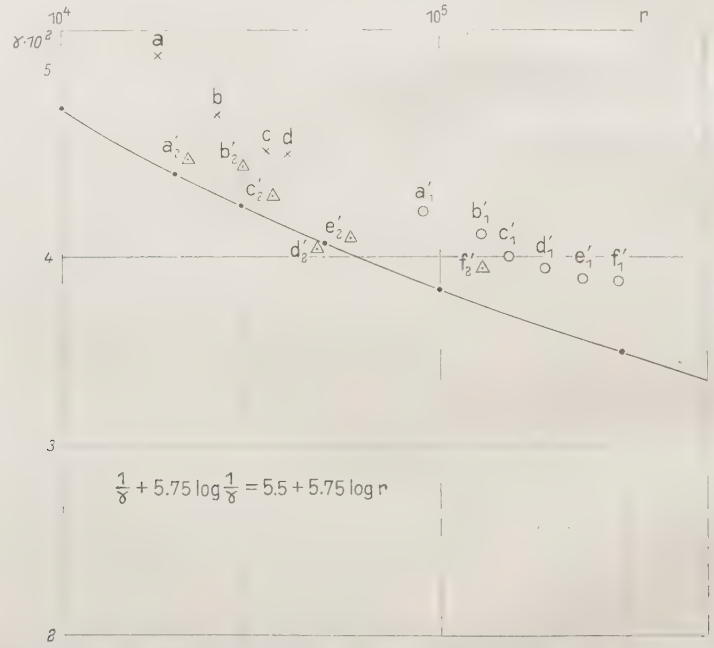


Abb. 12. **Graphische Darstellung der aus den Windgeschwindigkeitsmessungen berechneten Wertepaare (r_2, γ_2) zur theoretischen Kurve Kármáns.**

a, b usw. = Wertepaare des Sakrower Sees,

a'_1, b'_1 usw. = Wertepaare der Ostsee, oberer Kurventeil,

a'_2, b'_2 usw. = Wertepaare der Ostsee, unterer Kurventeil.

mit der theoretischen Verteilungskurve nach Gl. 8 eingetragen. Man erkennt, daß sämtliche Punkte Teile von Kurven darstellen, die der gezeichneten theoretischen Kurve parallel laufen. Der Abstand dieser Kurve von der theoretischen Kurve ist ein Maß der Rauhigkeit. Ersichtlich kommen die Punkte der Unterströmung a'_2, b'_2 usw. der theoretischen Kurve am nächsten und beweisen somit eine weitgehende Übereinstimmung mit der Luft-

Tabelle 5.
Berechnung des Wertepaares (r_2, γ_2).

Windgruppe	v_1 cm/sec	z_1 cm	v_2 cm/sec	z_2 cm	$r_1 \cdot 10^5$	$\gamma_1 \cdot 10^2$	$\sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}$	$r_2 \cdot 10^5$	$\gamma_2 \cdot 10^2$	
a	248	202	170	16	3,34	3,47	8,61	0,181	5,06	Sakrower See
b	345	202	245	16	4,65	3,37	11,63	0,261	4,75	
c	451	202	327	16	6,07	3,30	14,88	0,349	4,55	
d	525	202	377	16	7,07	3,26	17,11	0,402	4,54	
a_1'	263	212	213	64	3,72	3,44	9,03	0,909	4,24	Ostsee (Insel Oie)
b_1'	378	212	306	64	5,34	3,34	12,62	1,31	4,12	
c_1'	435	212	359	64	6,15	3,30	14,35	1,53	4,00	
d_1'	543	212	446	64	7,67	3,24	17,59	1,90	3,94	
e_1'	684	212	560	64	9,67	3,18	21,75	2,39	3,88	
f_1'	861	212	690	64	12,17	3,10	26,70	2,94	3,87	
a_2'	213	64	182	18	0,909	3,86	8,23	0,218	4,52	
b_2'	306	64	255	18	1,31	3,74	11,45	0,306	4,49	
c_2'	359	64	307	18	1,53	3,70	13,28	0,368	4,33	
d_2'	446	64	401	18	1,90	3,63	16,19	0,481	4,04	
e_2'	560	64	486	18	2,39	3,56	19,93	0,584	4,10	
f_2'	690	64	614	32	2,94	3,51	24,18	1,31	3,94	

strömung über glatten Flächen. Die größte Abweichung zeigen die Werte für b'_2 und f'_2. Für f'_2 läßt sich auch theoretisch infolge der großen Windgeschwindigkeit eine größere Abweichung erwarten, während es sich bei b'_2 mehr um einen zufälligen Fehler handeln muß.

d) Berechnung des Austauschkoeffizienten in Abhängigkeit von der Höhe z und der Windgeschwindigkeit.

Im Anschluß an die Rechnungen der Tabelle 5 ermitteln wir unter Benutzung der Werte von $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}$ den vertikalen Verlauf des Austauschkoeffizienten für die verschiedenen Windgruppen. Als Ausgangsformel dient uns Gleichung 10 : $A = \varrho\, u_* \cdot 0{,}4\ (z + z_0)$. Da z_0 sehr klein gegenüber z ist, beeinflußt es im allgemeinen den aus Gl. 10 zu berechnenden Wert für A nicht. Im besonderen Falle $z = 0$ benutzen wir es zur Berechnung des Mindestaustausches.

Tabelle 6.
Austauschkoeffizient in Abhängigkeit von Höhe und Windgeschwindigkeit ($g\ \mathrm{cm}^{-1}\ \mathrm{sec}^{-1}$).

Sakrower See.

Windgruppe	2—3 m/sec a	3—4 m/sec b	4—5 m/sec c	5—6 m/sec d
Höhe cm				
202	0,836	1,130	1,445	1,662
131	0,542	0,730	0,940	1,080
66	0 273	0,369	0,473	0,546
32	0,133	0,179	0,230	0,265
16	0,066	0,089	0,114	0,132
0	$2{,}47 \cdot 10^{-4}$	$2{,}08 \cdot 10^{-4}$	$1{,}38 \cdot 10^{-4}$	$0{,}20 \cdot 10^{-4}$

Ostsee.

Windgruppe	2—3 m/sec a'	3—4 m/sec b'	4—5 m/sec c'	5—6 m/sec d'	6—8 m/sec e'	> 8 m/sec f'
Höhe cm						
212	0,920	1,286	1,463	1,793	2,217	2,720
128	0,559	0,780	0,885	1,081	1,337	1,642
64	0 278	0,388	0,442	0,541	0,669	0,822
32	0,135	0,190	0,218	0,266	0,321	0,400
18	0,071	0,099	0,115	0,140	0,173	0,209
0	$2{,}2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	$3{,}4 \cdot 10^{-4}$	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$	$8{,}8 \cdot 10^{-4}$	$11{,}9 \cdot 10^{-4}$

Für ϱ wurde der Wert für gesättigt feuchte Luft bei 15° C und 760 mm eingesetzt: $\varrho_{15°} = 0.001202\ [g \cdot cm^{-3}]$.
Wir erhalten also: $A = 0{,}0004808\, u_*(z + z_0)$.

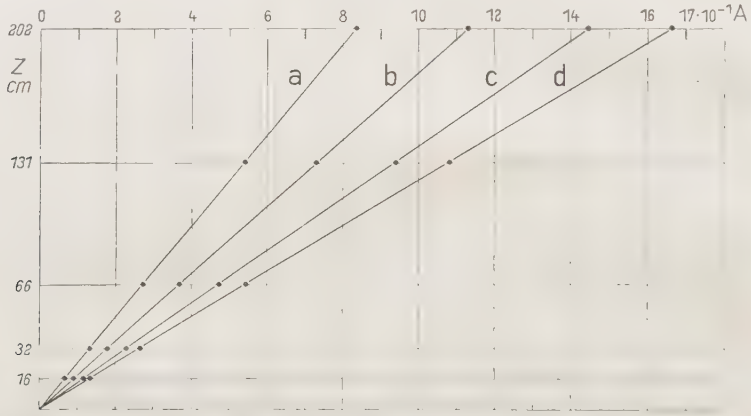


Abb. 13 a. **Die vertikale Verteilung des Austauschkoeffizienten über dem Sakrower See.**

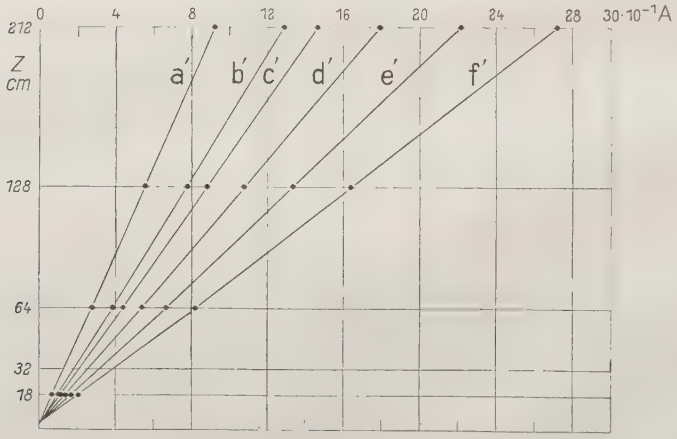


Abb. 13 b. **Die vertikale Verteilung des Austauschkoeffizienten über der Ostsee (Greifswalder Oie).**

Wie aus Tabelle 5 hervorgeht, ist u_* für die auf der Ostsee gewonnenen Serien infolge der Unstetigkeit in der Windgeschwindigkeitsverteilung nicht höhenkonstant. Wir erhalten daher im vertikalen Verlauf des Austauschkoeffizienten für die Windgruppen der Ostsee ebenfalls eine Unstetigkeit.

Sämtliche Kurven $A = f(z)$ sind in Abb. 13a und 13b dargestellt. Die entsprechenden Werte finden wir in Tabelle 6. Die errechneten Grenzwerte von A für $z = 0$ liegen teilweise unter dem Wert der physikalischen Zähigkeit bei 15° und 760 mm $\mu = 0{,}00018$ [$g\,cm^{-1}\,sec^{-1}$], was natürlich nicht angehen kann. Es ist offenbar, daß dieser Grenzwert nur eine größenordnungsmäßige Genauigkeit besitzt; da allerdings besagt er soviel, daß von einer gewissen Höhe h_0 ab der Wert des Austauschkoeffizienten dem der physikalischen Zähigkeit gleich oder sehr nahekommt. Aus der graphischen Darstellung in Abb. 13b entnehmen wir für die Ostsee $h_0 = 2{,}4$ cm, was mit einem mittleren $z_0 = 5 \cdot 10^{-2}$ zur Beziehung: $z_0 = \frac{1}{48} h_0$ führt.

Für den Sakrower See läßt sich h_0 auf diesem empirischen Wege nicht ermitteln, weil die dort sicher ebenfalls vorhandene Unstetigkeit in der Windgeschwindigkeitsverteilung in viel größerer Nähe der Wasseroberfläche liegt und von den Anemometern nicht erfaßt wurde. Wenn wir aber den oben ermittelten Faktor $\frac{1}{48}$ zugrunde legen, erhalten wir für den Sakrower See aus einem mittleren $z_0 = 3{,}75 \cdot 10^{-2}$ für h_0 den Wert 1,71 cm.

Die ermittelten Werte des Austauschkoeffizienten stimmen mit den von *Lettau* und *W. Schmidt* (s. Kap. II) über einer Schneedecke gefundenen gut überein, während die von *U. Roll* für die Nordsee in 50 cm Höhe ermittelten Werte nicht bestätigt werden können.

e) Ein Beispiel zur Berechnung des Einflusses thermischer Schichtung auf die Windgeschwindigkeitsverteilung.

Den Ausführungen in Kap. II, Abschn. c zufolge muß in einer bestimmten Höhe h einer stabil geschichteten Luftmasse die Windgeschwindigkeit größer sein als in derselben Höhe einer adiabatisch oder erst recht auch labil geschichteten Luftmasse. Und zwar muß nach Gl. 11:

$$u_s - u = \frac{p}{p+1} \frac{\varkappa \cdot c^2}{2 \cdot u_*} (z + z_0)^2$$

sein. Als Beispiel wählen wir die Serien: 19,18, labil geschichtet, und 18,3, stabil geschichtet, deren Windgeschwindigkeits- und Temperaturverteilung in nachfolgender Tabelle mitgeteilt sind:

Serie 19,18.

v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
238	229	210	—	186	$9{,}50^4$	$10{,}00^4$	$10{,}20^6$	$10{,}70^7$	$11{,}50^8$	—	22,40	23,40	—

Serie 18.3.

v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
294	276	247	—	195	$24{,}95^1$	$25{,}05^3$	$24{,}35^2$	$24{,}10^2$	23,35	—	21,35	20,85	21,10

Die Zahlen im Exponent der Temperaturen geben die Schwankung um den Mittelwert in $^1/_{10}$° C an.

Zu einem strengen Vergleich beider Windgeschwindigkeitsverteilungen wäre es an sich notwendig, daß sie aus der Beobachtung einer einzigen Serie hervorgingen, indem bei der bestimmten Windgeschwindigkeit v_z plötzlich ein Umschwung in der Temperaturschichtung stattgefunden hätte. Da ein solcher Vorgang in der Natur nicht vorkommt, kann nur eine Annäherung an diese theoretische Forderung zum Ziele führen: Aus mehreren Windgeschwindigkeitsserien zweier Tage mit verschiedener Temperaturschichtung werden sich meist 2 Serien herausfinden lassen, deren Windgeschwindigkeiten im

untersten Meßpunkt nahezu übereinstimmen. Durch eine kleine Parallelverschiebung der Kurve 19,18 erreichen wir die vollkommene Übereinstimmung der Windgeschwindigkeiten in diesem Punkt und haben nun näherungsweise den eingangs erwähnten Fall verschiedener Windgeschwindigkeitsverteilungen bei plötzlicher Änderung der Temperaturschichtung vor uns (siehe Darstellung in Abb. 14).

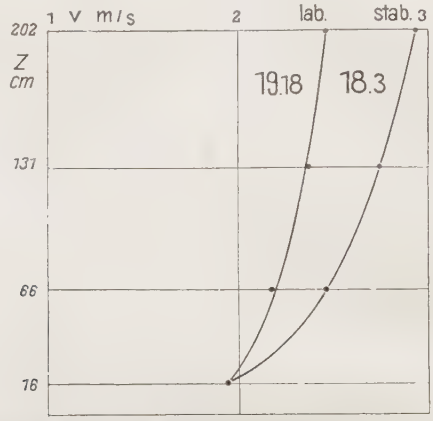


Abb. 14. **Verschiedene vertikale Windgeschwindigkeitsverteilungen bei labiler und stabiler Temperaturverteilung.**

Der Fehler liegt hier vor allem in der Annahme gleicher Windgeschwindigkeiten in der Höhe $z = 16$ cm des untersten Meßpunktes; denn wenn auch eine Konvergenz der beiden Verteilungskurven nach der Wasseroberfläche hin vorhanden ist, so bleibt doch die Frage offen, ob der Konvergenzpunkt sich überhaupt oberhalb des Wasserspiegels befindet oder ob im Wasserspiegel selbst noch eine endliche Geschwindigkeitsdifferenz beider Kurven vorhanden ist.

Wie aus Abb. 14 hervorgeht, divergieren beide Kurven, von $z = 16$ cm ausgehend, mit zunehmender Höhe. Wir entnehmen der Zeichnung in der Höhe $z = 73$ cm eine Windgeschwindigkeitsdifferenz: $u_s - u = 28$ cm/sec.

Aus Gleichung 11 muß sich nun, falls diese Differenz durch thermische Schichtung hervorgerufen wurde, der Ausdruck: $\frac{p}{p+1} \frac{\varkappa \cdot c^2}{2 u_*} (z + z_0)^2$ ebenfalls zu 28 cm/sec ergeben.

Aus der Kurve 18,3 entnehmen wir:

$$v_{73} = 251 \text{ cm/sec},$$
$$v_{16} = 195 \text{ cm/sec}.$$

Aus der oben mitgeteilten Tabelle ergibt sich als Temperaturgradient zwischen 16 und 73 cm:

$$\frac{\Delta \Theta}{\Delta z} = \frac{0{,}95}{57}.$$

Mit diesen Werten erhalten wir:

$$p = \frac{dz}{dv} \cdot \frac{v}{z} = 5{,}04,$$

$$u = 0{,}4\,(z + z_0)\frac{dv}{dz} = 17{,}68,$$

$$c^2 = \frac{g}{T} \cdot \frac{d\Theta}{dz} = 0{,}603.$$

Unter Zugrundelegung eines mittleren $z_0 = 3{,}75 \cdot 10^{-2}$ für den Sakrower See erhalten wir:

$$u_s - u = \frac{5{,}04}{6{,}04} \cdot \frac{0{,}4 \cdot 0{,}603}{2 \cdot 17{,}68} (73^2 + 2 \cdot 73 \cdot 0{,}0357)$$
$$u_s - u = 30{,}37 \text{ cm/sec.}$$

Die Übereinstimmung mit der Beobachtung ist in Anbetracht des Fehlers durch willkürliche Festsetzung des Konvergenzpunktes der Geschwindigkeitsverteilung in 16 cm Höhe als gut zu bezeichnen. Die beobachtete Differenz $u_s - u$ dürfte daher temperaturbedingt sein.

2. Übersicht über die Ergebnisse der Temperaturmessungen.

Die Temperaturverteilung in der unmittelbar dem Erdboden anliegenden Luftschicht richtet sich in erster Linie nach der Temperatur der Unterlage. Ist diese höher als die mittlere Temperatur der darüber lagernden Luft, so wird sich in den untersten Zentimetern eine äußerst labile Schichtung ein-

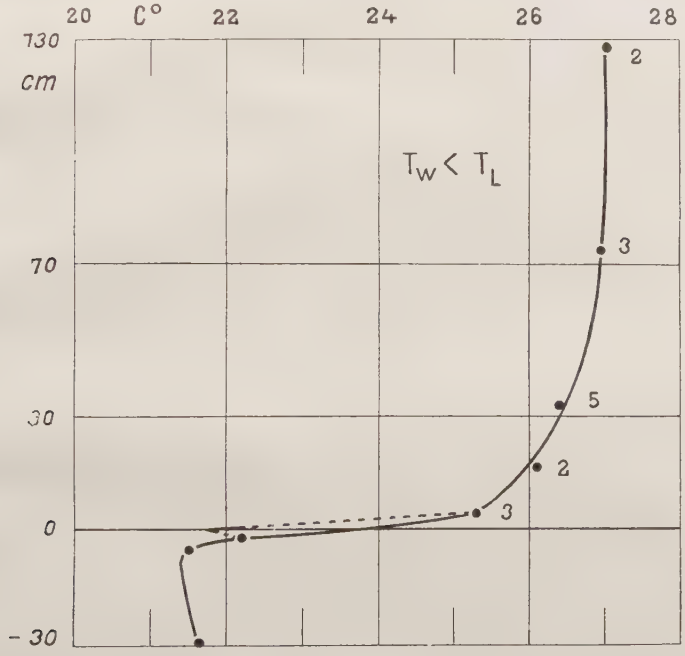


Abb. 15. **Die vertikale Temperaturverteilung über dem Sakrower See** am 8. 6. 1939, $11^h\,0^m$.
(Serie 18,4. Bew.: heiter, F_{60}: 42 %, Wind: 3,22 m/sec.)

stellen, die den Anlaß zu außergewöhnlicher Turbulenz gibt. Umgekehrt wird eine sehr tiefe Temperatur der Unterlage Anlaß zur Ausbildung eines stabil geschichteten Luftpolsters mit geringem Austausch in den untersten Zentimetern geben. Beide Fälle zeigen ihre extremste Entwicklung über der festen Erdoberfläche, wo am Tage die Sonneneinstrahlung, nachts die Ausstrahlung der Erdoberfläche zu teilweise sehr großen Differenzen zwischen Luft- und Bodentemperatur führen. Besonders wichtig ist dabei die Tatsache, daß sowohl Einstrahlung als auch Ausstrahlung unmittelbar nur an der Grenzfläche beider Medien, also an der Bodenoberfläche, angreifen und erst durch

den langsam wirkenden Vorgang der Wärmeleitung Einfluß auf die tieferen Bodenschichten gewinnen. Anders liegen die Verhältnisse bei Wasserflächen. Dadurch, daß die Einstrahlung eine gewisse Wasserschicht gleichzeitig durchsetzt sowie durch die Wirkung der turbulenten Wasserbewegung wird die einkommende Energie sofort auf ein mehr oder weniger großes Volumen verteilt; deshalb kann eine derartige Überhitzung der Oberfläche, wie sie beim festen Erdboden vorkommt, nicht eintreten. Dazu kommt noch die Wirkung der großen spezifischen Wärme des Wassers, welche bei gleicher zugeführter Strahlungsenergie in derselben Zeit eine viel kleinere Temperaturerhöhung

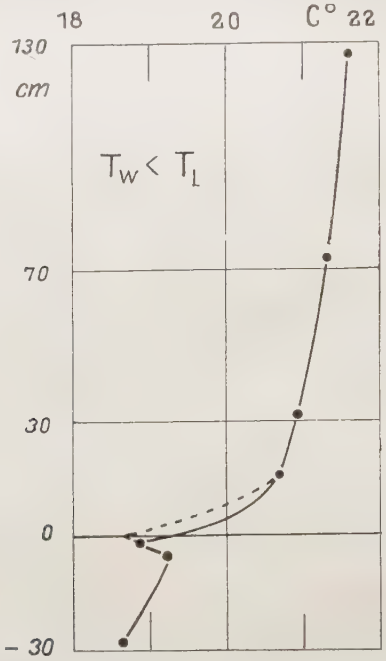


Abb. 16. **Vertikale Temperaturverteilung über der Ostsee (Insel Oie)** am 16. 7. 1939, 17^h 0^m).
(Serie 22.4. Bew.: cist, ast 4, F_{60}: —, Wind: 0 m/sec.)

zuläßt als die des festen Erdbodens. Ein sehr bedeutsamer Faktor für den Wärmeumsatz an der Wasseroberfläche ist ferner die Verdunstung. Sie greift nur unmittelbar an der Wasseroberfläche an und entnimmt die notwendige Verdunstungswärme vor allem dem obersten Wasserfilm sowie der untersten aufliegenden Luftschicht. In gleicher Weise wirkt die Ausstrahlung der Wasseroberfläche, die ja in erster Linie auch eine Abkühlung des obersten Wasserfilms bewirkt. Nun kann allerdings die erwähnte Abkühlung der Wasseroberfläche nicht beliebig weit fortschreiten, da das spezifisch schwerer werdende Wasser bald absinken und wärmerem und deshalb leichterem Unterwasser Platz machen muß. Trotzdem ist die Aufrechterhaltung einer instabilen Temperaturschichtung bis zu einem gewissen Grade möglich, wobei im obersten Wasserfilm wahrscheinlich die Wirkung der Oberflächenspannung eine gewisse Rolle spielt. *A. Merz* (17) konnte z. B. mit dem von ihm konstruierten Oberflächenthermometer an einem Herbstmorgen eine Unterkühlung der Wasseroberfläche um 0,2° gegen die darunter befindliche Wasserschicht feststellen. Die Messung erfolgte bei einer mittleren Wassertempe-

ratur über 4° C, so daß also tatsächlich schwereres Wasser über leichterem lag. Eine solche instabile Oberflächenschichtung wird sich zweifellos nicht nur in der Nacht und während der Morgenstunden, sondern auch am Tage einstellen. Die Sonneneinstrahlung wird dem allerdings entgegenwirken, doch ist es fraglich, ob ihre Energie, vor allem bei größerer Windstärke und daher stärkerer Verdunstung, zur Aufhaltung oder gar Umkehr des Effektes ausreichen wird. Unter günstigen Umständen — Windstille oder schwacher Wind sowie Wassertrübung — fand *A. Merz* allerdings eine Überhitzung der Wasseroberfläche, die z. B. für den Sakrower See im Juni 1,1° gegenüber

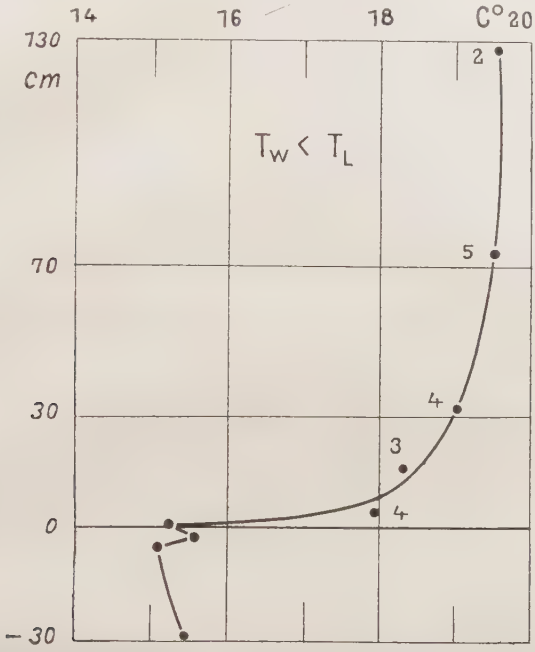


Abb. 17. **Vertikale Temperaturverteilung über dem Sakrower See** am 31. 5. 1939, $15^h\ 10^m$.
(Serie 13.7. Bew.: heiter, F_{60}: 37%, Wind: 3,50 m/sec.)

der Temperatur in 22 cm Tiefe erreichte. Bei Algenbedeckung betrug dieser Unterschied sogar 3,8°. Allgemein stellt *Merz* jedoch fest, daß die Temperatur der Wasseroberfläche in hohem Grade vom Winde abhängig ist. Eine Lösung des hier aufgezeigten Problems ist für die Frage des täglichen Temperaturganges über Wasserflächen und insbesondere über dem Meere von großer Wichtigkeit.

Zum Schluß meiner Arbeit möchte ich deshalb durch einen kurzen Überblick über die Ergebnisse meiner Temperaturmessungen auf dem Sakrower See und auf der Ostsee einen Beitrag zur Kenntnis des Temperaturverlaufes im Grenzgebiet Wasser—Luft liefern.

Die folgenden Kurven (Abb. 15—21 sowie 15a, 16a, 17a, 20a und 21a) zeigen den mittleren vertikalen Verlauf der Temperatur — im Wasser zwischen 30 cm Tiefe und der Oberfläche, in der Luft zwischen 4 bzw. 16 cm und 128 cm Höhe — für die drei Fälle:

$$T_w < T_l, \quad T_w \approx T_l, \quad T_w > T_l$$

(T_w = Wassertemperatur, T_l = Lufttemperatur).

Die Zahlen neben den Temperaturkurven geben die Temperaturunruhe der betreffenden Höhe in $\pm$ $^1/_{10}$° an. F_{60} bedeutet: Relative Feuchte in 60 cm Höhe. Die Windgeschwindigkeiten beziehen sich auf Anemometerregistrierungen in 128 cm Höhe.

Eine Auftragung der Temperaturen über den Logarithmen der zugehörigen Höhen — wie es in den Abbildungen 15a, 16a, 17a, 20a und 21a geschehen ist — bestätigt für den Fall $T_w < T_l$ eine weitgehend logarithmische Temperaturverteilung zwischen Wasseroberfläche und 73 cm Höhe, während im Falle $T_w > T_l$ eine logarithmische Temperaturverteilung nicht vorhanden zu sein scheint.

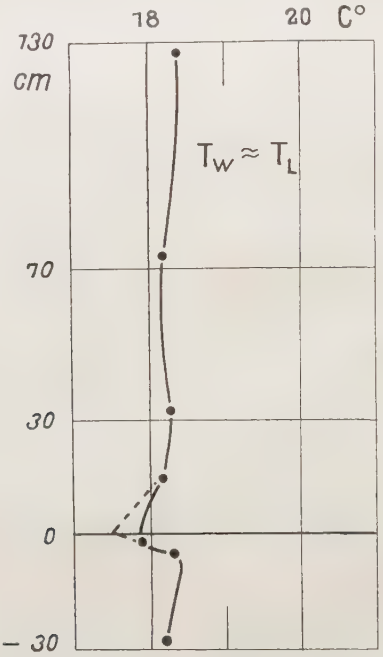
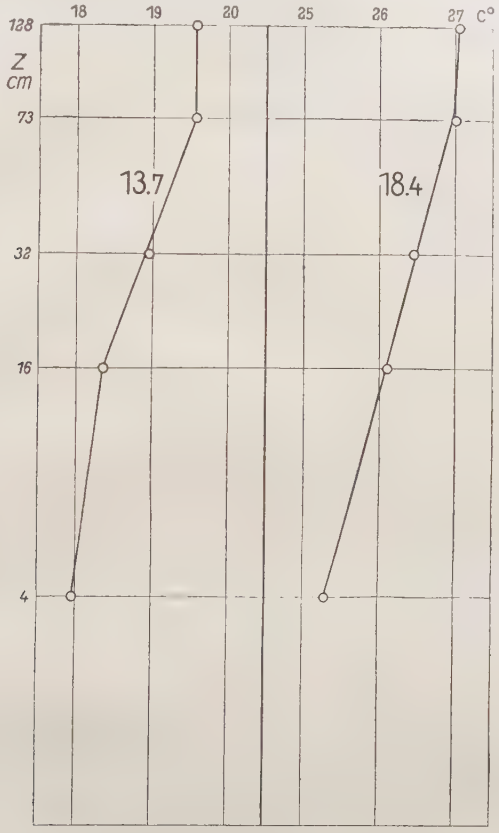


Abb. 18. **Vertikale Temperaturverteilung über der Ostsee (Insel Oie)** am 15. 7. 1939, $11^h\,04^m$.
(Serie 21.3. Bew.: cist, acu 5, F_{60}: 94%, Wind: 3,13 m/sec.)

Im letzteren Falle ist jedoch zu berücksichtigen, daß die beträchtliche, aus unregelmäßigen Schwankungen bestehende Temperaturunruhe die durch Mittelbildung erhaltenen Temperaturwerte unsicher erscheinen läßt. In den Abb. 15—21 zeigt sich die besondere Stellung, die die Wasseroberfläche im vertikalen Temperaturverlauf einnimmt. Aus Abb. 17 geht z. B. hervor, daß trotz kräftiger Einstrahlung am Nachmittag eines heiteren Maitages und trotz der darüber lagernden warmen Luft der normale Temperaturanstieg in den obersten Zentimetern des Wassers einen Rücksprung zur eigentlichen Wasseroberflächentemperatur aufweist. Die wahre Temperatur der Wasseroberfläche liegt hier 0,35° unter der Temperatur in 2 cm Tiefe. Diese Beobachtung ist keine Einzelerscheinung. Von 23 Fällen $T_w < T_l$, in denen die wahre Oberflächentemperatur des Wassers gemessen werden konnte, zeigten 17 Beobachtungen diesen Rücksprung, 3 Beobachtungen Homothermie, und nur in drei Fällen reichte der Temperaturanstieg im Wasser bis zur Oberfläche. Diese Erscheinung kann nur durch die abkühlende Wirkung der Verdunstung er-

klärt werden, was auch in der gleichzeitig gemessenen Windgeschwindigkeit von 3,50 m/sec eine Stütze findet. Dieser Temperaturrücksprung setzt teilweise, besonders bei stärkerer Bewölkung, schon in 5 cm Tiefe ein, wie die Abb. 16, 18 und 19 beweisen.

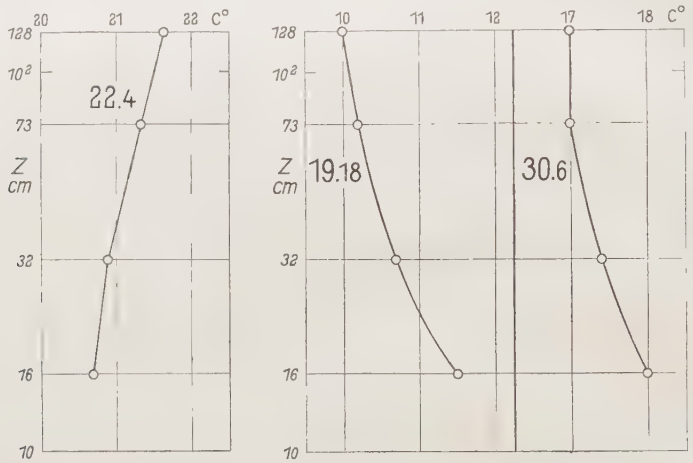
Bei der Serie 22,4, Abb. 16, liegen allerdings besondere Verhältnisse vor, die auch noch eine andere Erklärung des Rücksprunges zulassen. Am Vormittag um 11 Uhr des 16. Juli war ein Gewitterregen niedergegangen. Die



Die vertikale Temperaturverteilung im halblogarithmischen Koordinatensystem.
Links: Abb. 15 a: Serie 18.4; siehe Abb. 15.
Rechts: Abb. 17 a: Serie 13.7; siehe Abb. 17.

dann einsetzende Windstille konnte wohl die Vermischung des vielleicht kälteren, aber wegen des fehlenden Salzgehaltes doch leichteren Regenwassers mit dem salzreichen Seewasser so lange verzögern, daß noch um 17 Uhr eine kältere Deckschicht vorhanden war. Sämtliche dargestellten Temperaturserien, außer der in Abb. 17, enthalten keine Messung der wahren Oberflächentemperatur. Es ist deshalb der wahrscheinliche Verlauf der Temperatur zwischen 2 cm Tiefe im Wasser und 4 bzw. 16 cm Höhe in der Luft auf Grund der gemachten Erfahrungen durch eine gestrichelte Linie angedeutet worden. Besonders aufschlußreich ist die im Falle $T_w \approx T_l$ zu beobachtende Störung des Temperaturverlaufes in der Nähe der Wasseroberfläche, wie wir sie aus Abb. 18 und 19 entnehmen können. In beiden Fällen,

die als Beispiel vieler Messungen gelten können, zeigt sich ein Rücksprung der Temperatur sowohl in der Luft als auch im Wasser zur Wasseroberfläche hin. Da die wahre Oberflächentemperatur nicht gemessen wurde, bleibt leider die Frage offen, ob der Temperaturrückgang bis zur Oberfläche der gestrichelten oder der ausgezogenen Kurve folgte. Jedenfalls scheint durch diese Beobachtungen die Frage, ob die Temperatur der Meeresoberfläche dauernd über der Lufttemperatur liegt oder nicht, für den Fall $T_w \approx T_l$ im negativen Sinne beantwortet werden zu können. Wie durch Wiedergabe einer Messung auf dem Sakrower See gezeigt werden konnte, wird auch am Tage bei vorhandener Einstrahlung die Wasseroberfläche am kühlsten sein, sofern stärkere Luftbewegung herrscht.



Die vertikale Temperaturverteilung im halblogarithmischen Koordinatensystem.
Rechts: Abb. 16 a: Serie 22.4; siehe Abb. 16.
Mitte: Abb. 21 a: Serie 19.18; siehe Abb. 21.
Links: Abb. 20 a: Serie 30.6; siehe Abb. 20.

Der Fall $T_w > T_l$ ist in Abb. 20 und 21 dargestellt; er zeigt einen regelmäßigen Abfall der Wassertemperatur zur Oberfläche und einen allmählichen Übergang zur kälteren Lufttemperatur. Ein besonders extremes Beispiel zeigt Abb. 21: die vertikale Temperaturverteilung dicht über und dicht unter der Oberfläche des Sakrower Sees nach einer klaren Strahlungsnacht. Weitaus die Hälfte des gesamten Temperaturgefälles zwischen Wasseroberfläche und Luft entfällt auf die ersten 4 cm in der Luft. Interessant ist ferner, daß in 2 cm Tiefe das Wasser um 1° kälter ist als in 5 cm Tiefe, und es ist zu vermuten, daß diese negative Temperaturanomalie bis zur Wasseroberfläche einen noch größeren Betrag erreicht.

Die Temperaturunruhe in der Luft ist in vielen Fällen, besonders aber im Falle der Abb. 21, beträchtlich. Im allgemeinen konnte beobachtet werden, daß die Temperaturunruhe über dem Sakrower See sowohl bei labiler als auch bei stabiler Schichtung vorhanden war, während sie sich auf der Ostsee nur bei ausgesprochen labiler Schichtung (s. Abb. 20) einstellte.

Das Vorhandensein beträchtlicher Temperaturschwankungen auf dem Sakrower See, auch bei stabiler Schichtung, wie es Abb. 15 zeigt, läßt sich zwanglos als Landeinfluß erklären, denn das Temperaturprofil der Serie 18,4 gibt doch nur den Temperaturverlauf in einer überhitzten Luftmasse beim Überstreichen einer relativ kalten Wasseroberfläche wieder.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Temperaturverlauf zwischen 4 cm und 1 bis 2 m Höhe für die Fälle $T_w < T_l$ und $T_w > T_l$ meist durch eine logarithmische Funktion $T_z = a + b \log z$ angenähert werden kann. Für den Fall $T_w > T_l$ folgt ab 4 cm Höhe ein stetiger Übergang der Lufttemperatur in die bei gewöhnlichen Temperaturmessungen stets erfaßte Wassertemperatur in 2—5 cm Tiefe. Im Falle $T_w < T_l$ wird jedoch der Abfall der Lufttemperatur zur Wassertemperatur stärker sein, als es nach einer gewöhnlichen Messung der Wassertemperatur zu erwarten wäre, da in diesen Fällen die wahre Wasseroberflächentemperatur meist tiefer liegen dürfte als die in 2—5 cm Tiefe gemessene Temperatur.

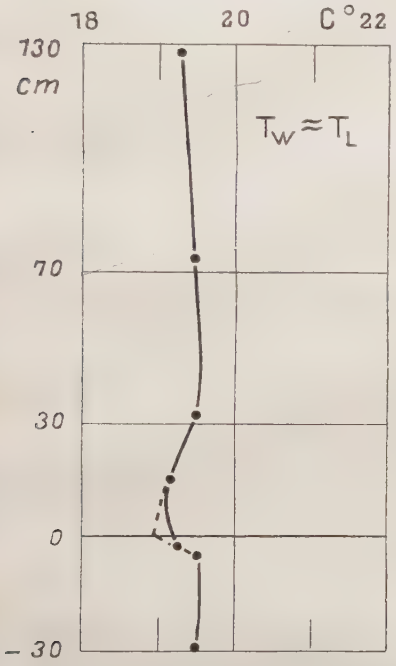


Abb. 19. **Die vertikale Temperaturverteilung über der Ostsee (Insel Oie)** am 29. 7. 1939, $11^h\,50^m$.
(Serie 27.3. Bew.: cist, ast, stm 8. F_{60}: —, Wind: 2,37 m/sec.)

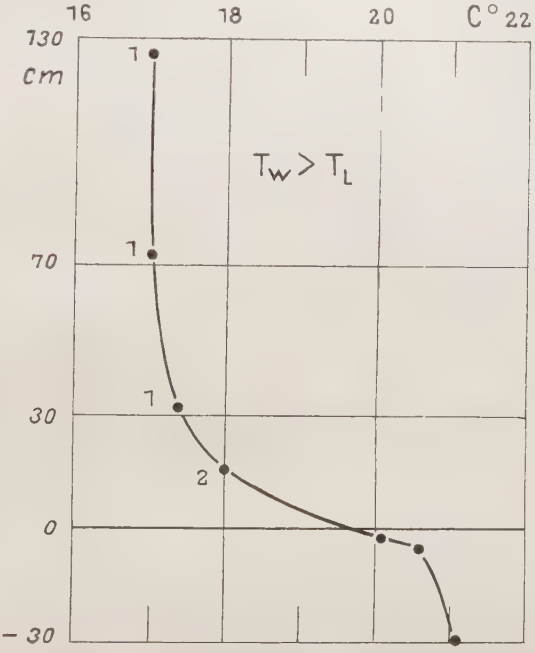


Abb. 20. **Die vertikale Temperaturverteilung über der Ostsee (Insel Oie)** am 3. 8. 1939, $14^h\,58^m$.
(Serie 30.6. Bew.: cist, acu 3. F_{60}: —, Wind: 4,35 m/sec.)

IV. Zusammenfassung.

Zur Klärung der Windgeschwindigkeits- und Temperaturverteilung in den untersten Luftschichten über Wasserflächen wurden auf dem Sakrower See bei Potsdam sowie auf der Ostsee in der Nähe der Insel „Greifswalder Oie" Messungen des Gradienten der Windgeschwindigkeit und der Temperatur in dem Bereich zwischen Wasseroberfläche und 2 m Höhe durchgeführt. An Hand der Windgeschwindigkeitsmessungen konnte unter Benutzung neuerer Theorien ein Beitrag zur Lösung des Problems einer laminaren Grenzschicht über Wasserflächen geliefert werden. Es wurde gezeigt, daß sich an der Meeresoberfläche, dicht über den Wellen, zwei Windströmungen verschiedener vertikaler Geschwindigkeitsverteilung ausbilden, deren gegenseitige Begrenzung durch eine Unstetigkeit in der Geschwindigkeitsverteilung angedeutet wird. Eine Berechnung des Rauhigkeitsmaßes z_0 ergab, daß für

beide Strömungen zwei verschiedene z_0-Werte charakteristisch sind. Die Unterströmung, welche weitgehend dem Wellenprofil folgt, lieferte ein z_0 der Größenordnung 10^{-2} cm und zeigte eine Geschwindigkeitsverteilung, die sich sehr gut durch *Kármáns* Formel für Luftströmungen über glatten Flächen annähern ließ. Aus der Oberströmung dagegen ergab sich z_0 in der Größenordnung 10^{-1} cm in Übereinstimmung mit Berechnungen von *Rossby* aus den Beobachtungen *Wüsts* und *Shouljekins*. Gleichzeitig konnte hier eine Annäherung der Windgeschwindigkeitsverteilung durch die Formel *Kármáns* nicht erzielt werden.

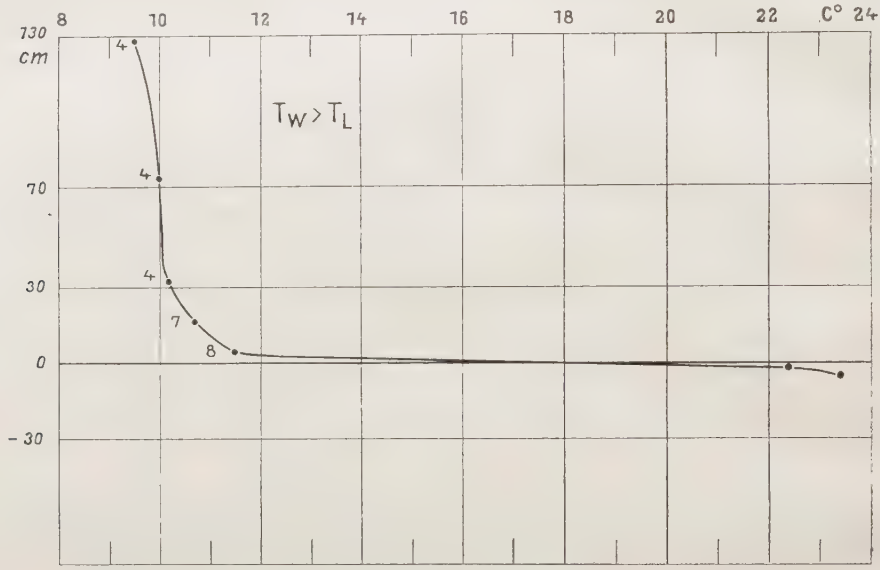


Abb. 21. **Die vertikale Temperaturverteilung über dem Sakrower See** am 9. 6. 1939, 5^h 02^m.
(Serie 19.18. Bew.: heiter, F_{80}: 81 %, Wind: 2,38 m/sec.)

Nach einer von *Lettau* entwickelten Methode wurden ferner Werte des Austauschkoeffizienten A für verschiedene Höhen und Windgeschwindigkeiten berechnet, die sich in der Größenordnung 10^{-1} [$g \cdot cm^{-1} sec^{-1}$] bewegen. Der Einfluß thermischer Schichtung auf die Windgeschwindigkeitsverteilung wurde an Hand eines Beispiels aus den Messungen des Sakrower Sees behandelt. Ein Überblick über die Ergebnisse der Temperaturmessungen zeigte, daß in den untersten Metern über einer Wasserfläche der Verlauf der Temperatur im allgemeinen durch ein logarithmisches Gesetz angenähert werden kann. Der Verlauf der Wassertemperatur ließ an Hand von Messungen der wahren Temperatur der Wasseroberfläche die Sonderstellung des Wasserspiegels in der Temperaturverteilung erkennen. Es ergab sich in fast allen Fällen, selbst am Tage bei Einstrahlung, eine negative Temperaturanomalie der Wasseroberfläche, die durch den großen Wärmeentzug des Verdunstungsvorgangs erklärt wurde. Für die Verhältnisse auf dem Meere ist dieser Befund insofern von Bedeutung, als selbst bei geringem Wärmeüberschuß des Meerwassers gegenüber der Luft noch eine stabile Temperaturschichtung möglich ist, da die Temperatur der Wasseroberfläche in den meisten Fällen unter der des Wassers liegen dürfte.

Literaturverzeichnis.

1. *G. Wüst:* Die Verdunstung auf dem Meere. Veröff. d. Inst. f. Meereskunde, N. F. Heft 6, 1920.
2. *G. Wüst:* Temperatur und Dampfdruckgefälle in den untersten Metern über der Meeresoberfläche. Meteor. Zeitschr. 54, 4, 1937.
3. *Hesselberg* und *Sverdrup:* Die Reibung in der Atmosphäre. Veröff. d. Geophys. Inst. Leipzig (2) I, 241, 1915.
4. *R. Süring:* Leitfaden der Meteorologie, Leipzig 1927, S. 184.
5. *W. Paeschke:* Das Rauhigkeitsproblem. Beitrag z. Phys. d. freien Atmosph. 24, 1937.
6. *W. Shouljekin:* The evaporation of the Sea Water and the thermal intercourse between the Sea and Atmosph. Gerlands Beiträge z. Geophys. Bd. 20, 1928.
7. *R. B. Montgomery:* Measurements of vertikal gradient of wind over water. Papers in phys. Oceanogr. and Meteorol. Vol. 4, No. 3.
8. *W. Schmidt:* Der Massenaustausch in freier Luft und verwandte Erscheinungen, Hamburg 1925.
9. *H. U. Sverdrup:* Das maritime Verdunstungsproblem. Ann. d. Hydr. und mar. Met., Bd. 64, 1936.
10. *C. G. Rossby:* On the frictional force between air and water and on the occurence of a laminar boundary layer next to the surface of the sea. Papers in phys. Oceanogr. and Meteorol., Vol. 4, No. 3.
11. *v. Kármán:* Turbulence and skin friction. Journ. of the Inst. of the Aeronaut. Sciences, Vol. 1.
12. *H. Lettau:* Atmosphärische Turbulenz. Leipzig 1939.
13. *U. Roll:* Zur Frage des täglichen Temperaturganges in den unteren Luftschichten über dem Meere. Auf Grund von Messungen bei Helgoland. Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte und des Marineobs. Bd. 59, Heft 9.
14. *H. U. Sverdrup:* Austausch und Stabilität der unteren Luftschichten. Meteor. Z. 53, 10.
15. *H. U. Sverdrup:* The eddy conductivity of the air over a smooth snowfield. Geoph. Publ. 11, 7, 1936.
16. *H. Motzfeld:* Die turbulenten Strömungen an welligen Wänden. Zeitschr. f. angew. Math. und Mech. XVII, 1937.
17. *A. Merz:* Die Oberflächentemperatur der Gewässer. Veröff. d. I. f. M., Heft 5, 1920.

Tabelle 1.

Temperatur- und Windmessungen in den untersten Metern über dem Sakrower See.[1])

Zeit	Lufttemperaturen ° C					Wassertemperaturen ° C				Windgeschw. cm/sec					Serie	Bemerkungen
Tag, St.	in: [cm]					in: [cm]				in: [cm] Höhe					Nr.	
30. 11. 38	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*214*	*128*	*64*	*32*	*20*		Messungshorizonte
10.08	3.74[1]	3.78[1]	4.10[1]	3.85[2]	4.76[2]	—	7.39	7.50	7.62	340	310	301	...	232	1	8. Beob.-Tag 30. 11. 38 Sakrower See.
11.01	3.70[2]	3.94[3]	3.97[3]	4.13[3]	4.38[2]	—	7.23	7.30	7.37	299	276	267	—	206	2	
12.01	4.35[1]	4.50[1]	4.65[2]	4.75[2]	5.15[3]	—	7.15	7.25	7.30	350	321	306	—	240	3	
13.01	5.00[1]	5.15[2]	5.25[1]	5.25[2]	5.62[1]	—	7.15	7.27	7.25	234	219	212	—	160	4	
14.00	5.45[1]	5.42[1]	5.70[1]	5.65[1]	6.07[1]	—	7.08	7.20	7.21	234	220	216	—	168	5	Wetter: bedeckt, st 8– 10.
25. 5. 39	*128*	*73*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*202*	*131*	*66*	*32*	*16*		Messungshorizonte
13.00	12.45	12.65	12.10	12.30	11.50	—	13.20	12.50	13.05	362	346	315	—	262	1	12. Beob.-Tag 25. 5. 39 Sakrower See.
13.33	12.00	12.25	11.75	12.05	10.95	—	13.05	12.35	12.85	438	415	382	—	317	2	Wetter: bedeckt, st 10.
14.04	11.70	12.00	11.55	11.80	10.75	—	13.15	12.45	12.95	454	434	397	—	336	3	
14.35	11.70	11.80	11.45	11.60	10.95	—	13.15	12.45	12.95	463	442	401	—	335	4	
15.07	11.60	11.80	11.45	11.70	10.75*	—	13.00	12.35	12.85	514	484	445	—	372	5	* oft überspült.
15.47	11.50	11.70	11.35	11.70	10.70*	—	12.95	12.35	12.80	503	470	444	—	375	6	
31. 5. 39	*128*	*73*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*202*	*131*	*66*	*32*	*16*		Messungshorizonte
8.13	16.80	17.00	16.50	16.95	17.00[5]	15.90	16.00	15.25	15.50	nicht meßbar!					1	13. Beob.-Tag 31. 5. 39 Sakrower See.
9.07	17.15[8]	17.65[5]	16.85[7]	17.25[2]	16.75[6]	15.35	15.40	14.75	15.80	232	218	200	—	170	2	Wetter: heiter.
10.06	17.30[5]	17.15	17.25	17.75	17.55	16.30	16.85	16.25	16.40	nicht meßbar!					3	
11.10	17.80	18.10	17.90	18.35	18.00[2]	16.50	16.90	16.10	16.00	nicht meßbar!					4	

12.04	19.05[2]	18.90	18.85[4]	18.60[2]	18.50	15.85	16.30	15.70	16.00	445	427	364	--	340	5
13.46	19.00[2]	19.10[2]	18.65[3]	18.70[4]	18.20[3]	14.85	15.20	14.75	15.05	360	345	312	—	265	6
15.10	19.55[2]	19.55[5]	18.95[4]	18.35[3]	17.95[4]	15.20	15.55	15.10	15.45	397	375	340	—	287	7
16.18	20.50[2]	20.20[2]	19.70[2]	20.15[5]	20.05[5]	16.15	16.45	15.95	16.25	287	268	245	—	—	8
17.10	20.70	20.05[2]	19.90[5]	20.20[5]	19.50[6]	16.05	16.45	15.90	16.15	233	215	201	—	—	9
18.06	20.45	20.10[3]	20.25[3]	20.00[3]	19.80[4]	16.20	16.60	16.05	16.40	245	231	214	—	—	10
18.53	20.15	19.85[3]	19.70[2]	19.45[4]	19.55[4]	16.05	16.55	16.00	16.30	204	173	170	—	—	11
1. 6. 39	*128*	*73*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*202*	*131*	*66*	*32*	*16*	
8.19	18.30	18.50	17.85	18.60[2]	18.30[1]	16.80	17.20	16.50	16.25		nicht meßbar !				1
9.06	19.40[4]	18.80[2]	18.50	18.90[2]	19.70[1]	16.90	16.80	16.40	15.40		nicht meßbar !				2
10.10	19.40	20.00[2]	20.05[2]	19.80[2]	20.75[7]	18.00	18.00	17.25	17.05	238	265	251	—	210	3
11.05	18.60	19.05	18.90	18.70[2]	18.70[3]	17.20	17.40	16.80	17.00	225	207	203	—	158	4
12.08	19.85[1]	20.35[2]	20.65[2]	20.10[3]	19.50[2]	17.95	18.10	17.40	17.45	220	198	190	—	154	5
12.58	20.50	20.20[4]	19.80	19.90	20.10[2]	18.25	18.50	17.90	18.00	242	225	211	—	168	6
15.06	22.60[3]	22.45[3]	21.80[2]	21.55[2]	20.75[3]	—	18.80	18.25	18.45	302	285	260	—	212	7
16.06	22.45[5]	21.70[4]	21.50[1]	21.70[3]	21.25[3]	—	18.80	18.20	18.45	375	355	315	—	255	8
17.04	21.90[3]	21.15[2]	21.20[3]	20.30[3]	—	—	18.10	17.55	17.80	280	261	227	—	174	9
18.04	22.70[1]	22.65[3]	22.55[3]	22.35[3]	21.70[4]	—	17.85	17.30	17.60	194	164	160	—	132	10
19.01	20.55[2]	20.40[3]	20.45[3]	20.15[2]	—	—	17.70	17.15	17.45	543	515	470	—	386	11
19.58	18.40	18.20[1]	18.10[1]	18.10[1]	—	—	17.25	16.70	17.00	477	460	424	—	351	12

Messungshorizonte

14. Beob.-Tag 1. 6. 39
Sakrower See.
Wetter: heiter bis wolkig cu 1—4.

[1]) Die kleinen Ziffern im Exponent der Temperaturen geben die [illegible] Schwankungen um die hier mitgeteilten Mittelwerte der Temperaturen in zehntel Grad an. Siehe Anmerkungen S. 51.

Noch: Tabelle 1.

Zeit	Lufttemperaturen °C					Wassertemperaturen °C				Windgeschw. cm/sec					Serie	Bemerkungen
Tag, St.	in: [cm]					in: [cm]				in: [cm] Höhe					Nr.	
6. 6. 39	*128*	*73*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*202*	*131*	*66*	*32*	*16*		Messungshorizonte
8.25	23.00	22.20 1	21.65	21.75	22.40	—	21.45	20.80	21.40	Windstille !					1	16. Beob.-Tag 6. 6. 39 Sakrower See.
9.30	23.05	22.50 1	22.45	22.05	23.20 2	—	21.40	20.90	22.20	Windstille !					2	Wetter: heiter bis wolkig cu 1—2.
10.30	24.00 1	23.70 1	23.50 2	23.00 1	23.40 1	—	20.90	20.30	20.60	335	320	286	—	241	3	
11.58	25.35 1	25.00 2	24.75 2	23.90 3	23.80 2	—	21.20	20.70	20.90	302	285	260	—	225	4	
12.51	26.00 3	26.65 2	25.40 4	24.70 2	24.40 4	—	21.50	21.00	21.20	leichter Zug, nicht meßbar !					5	
13.56	26.00 2	25.65 1	25.30 2	25.40 2	25.00 3	—	22.00	21.40	21.60	233	220	193	—	158	6	
14.50	27.10 6	26.40 2	26.70 3	25.70 3	26.20 7	—	22.55	22.00	22.40	leichter Zug, nicht meßbar !					7	
17.08	25.80 4	25.60 4	25.65 5	25.60 2	25.45 2	—	23.30	22.80	22.75	leichter Zug, nicht meßbar !					8	
18.05	26.70 1	26.00	26.15	25.90 1	25.10	—	23.55	23.10	22.30	Windstille !					9	
18.58	23.15	23.15	23.30	23.30	23.40	—	23.20	22.70	22.20	Windstille !					10	
19.45	22.50 2	22.50	22.50	22.65	22.65	—	23.60	23.00	23.05	Windstille !					11	
7. 6. 39	*128*	*73*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*202*	*131*	*66*	*32*	*16*		Messungshorizonte
7.47	21.40	21.80	21.55	21.70	22.05	—	21.50	20.90	21.20	278	264	240	—	198	1	17. Beob.-Tag 7. 6. 39 Sakrower See.
8.47	23.60 2	23.50 2	23.35 2	23.10 1	23.35	—	21.45	20.90	21.20	264	246	224	—	187	2	Wetter: heiter.
9.48	24.60 1	24.65 3	24.50 2	24.10 1	—	—	20.90	20.20	20.55	478	454	356	—	338	3	
10.47	25.40 3	24.90 2	25.20 3	24.70 3	—	—	20.80	20.20	20.50	437	414	372	—	308	4	
11.48	25.15 2	25.00 3	25.05 4	24.40 3	—	—	20.80	20.10	20.60	502	466	452	—	340	5	
12.48	25.40	25.10	24.40	25.10	—	—	20.60	20.10	20.50	452	428	390	—	328	6	

Tabelle 1a.

Temperatur- und Windmessungen in den untersten Metern über der Ostsee (Insel Oie).

Zeit	Lufttemperaturen °C					Wassertemperaturen °C			Windgeschw. cm/sec					Serie	Bemerkungen
Tag, St.	in: [cm]					in: [cm]			in: [cm] Höhe					Nr.	
14. 7. 39	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*- 5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*		Messungshorizonte
15.09	18.35	18.20 [1]	17.95	17.60 [3]	17.20 [2]	—	17.80	18.25	18.05	261	234	206	—	185	1	20. Beob.-Tag 14. 7. 39 Insel „Oie".
15.58	18.20	18.00	17.75	17.35 [2]	17.00	—	16.65	18.30	17.80	214	186	166		150	2	Wetter: überwiegend bedeckt, ast, acu 3—7.
17.00	18.40	18.10	18.00	17.75	16.70 [2]	—	17.45	18.30	18.05	240	210	185	--	168	3	Wind: SE-SSE. See: 1.
18.00	18.40	18.40	18.05	17.80 [2]	17.70	—	16.70	17.20	17.40	295	265	230	--	210	4	
19.00	17.95	17.75	17.55 [3]	17.35 [3]	17.40	—	16.70	17.30	17.15	196	177	169	--	156	5	
16. 7. 39	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*		Messungshorizonte
13.57	21.20	20.50 [3]	21.00	19.95	—	—	19.60	19.90	19.80	Windstille !					1	22. Beob.-Tag 16. 7. 39 Insel „Oie".
15.00	21.60 [8]	21.25	21.50 [2]	21.30	—	—	19.75	20.10	18.45 [3]	leiser Zug aus W, N, NE !					2	Wetter: bewölkt cist, ast, cu 3—6.
16.02	20.80	20.85	20.80	20.75 [2]	—	—	18.60	18.85	18.45	Windstille !					3	See = 0.
17.00	21.65	21.35 [1]	20.90	20.70	—	—	18.85 [2]	19.25 [3]	18.65	Windstille !					4	Starke Wasserströmung !
17.59	19.90	19.65	19.85	19.60	—	—	18.45	18.85	18.70	436	410	369	**352**	326	5	Wind: NW.
18. 7. 39	*140*	*76*	*44*	*28*	*16*	*0*	*— 2*	*—5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*		Messungshorizonte
10.05	18.80	18.80	19.15	18.80	19.40	—	18.80	19.00	18.85	723	670	587	**541**	495	1	23. Beob.-Tag 18. 7. 39 Insel „Oie".
11.08	19.65	19.40	19.55	19.20	19.50	—	18.65	18.65	18.50	556	517	448	**412**	384	2	Wetter: bewölkt cu, stm, ast 2—6. See: 3; Wind: SW.

Noch: Tabelle 1a.

Zeit	Lufttemperaturen °C					Wassertemperaturen °C				Windgeschw. cm/sec					Serie	Bemerkungen
Tag, St.	in: [cm]					in: [cm]				in: [cm] Höhe					Nr.	
	140	*76*	*44*	*28*	*16*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*225*	*128*	*64*	*45*	*29*		Messungshorizonte
11.58	19.60	19.30	19.40	19.25	19.40	—	18.65	18.75	18.60	588	543	471	--	426	3	10^h—11^h Gerüst über flachem Wasser.
13.25	19.90	—	—	19.50	19.60	—	18.95	19.20	18.90	620	580	518	—	470	4	
14.01	20.00	20.00	20.00	19.80	—	—	19.10	19.35	19.10	556	517	455	—	411	5	
15.04	19.70	20.15	20.25	19.90	—	—	19.40	19.55	19.25	404	366	316	—	288	6	
16.12	19.35	19.50	19.60	18.10	—	—	19.60	19.70	19.45	Winddrehung!					7	
19. 7. 39	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*		Messungshorizonte
8.33	18.80	18.60	18.80	18.35	—	—	18.25	18.25	17.70	361	337	303	**272**	256	1	24. Beob.-Tag 19. 7. 39 Insel „Oie“.
10.00	18.70	18.90	18.85	18.70^1	—	—	18.60	19.10	18.40^1	414	388	347	**314**	300	2	Wetter: bewölkt, cist, ast, acu 1—5.
11.00	19.60^1	19.65^1	19.75^1	19.70	—	--	19.65	19.85^1	$19.10^{1.5}$	430	410	364	**334**	323	3	Wind: SE-ESE. See: ansteigend 1—4.
11.50	19.65^1	19.75^1	19.90^1	19.40^1	—	—	19.10	19.35	18.70	512	490	435	**396**	374	4	
13.33	19.05^2	19.55	19.40	18.80^2	—	—	19.80	21.05^1	19.60^2	573	533	482	**438**	415	5	
15.00	19.55^1	19.60^2	20.20^1	19.45^2	—	—	21.50^1	21.60	20.75^3	627	586	523	**472**	444	6	
16.03	19.90	19.85	20.05	19.50	—	—	20.80^2	21.10^2	20.60^1	710	667	591	**540**	506	7	
17.00	20.00	20.00	20.00	19.55	—	—	21.05	21.40	20.95	718	674	598	**540**	506	8	
17.58	20.00	19.90	19.95	19.65	—	—	19.80	20.20	19.65	725	685	612	**553**	518	9	
29. 7. 39	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*		Messungshorizonte
9.32	18.15	18.70	18.35	18.00		—	19.15	19.25	20.10	--	545	480	**446**	**418**	1	27. Beob.-Tag 29. 7. 39 Insel „Oie“.

10.50	18.70	19.00	19.10	18.60	—	—	18.85	19.10	19.25	—	483	425	**402**	**384**	2	Wetter: bedeckt ci, ast, stcu, st 5—10.
11.50	19.25	19.45	19.50	19.15	—	—	19.25	19.50	19.50	—	237	210	**192**	**179**	3	Wind: WSW.
13.36	19.85	19.95	20.05	19.45	—	—	19.50	19.75	19.80	—	330	286	**265**	**248**	4	See: abnehmend 3—0.
14.48	20.10	20.45	20.25	19.95	—	—	19.45	19.65	19.65	nicht meßbar!					5	
15.53	20.25	20.50	20.35	19.85	—	—	20.10	20.35	20.45	—	240	207	**192**	**179**	6	
16.59	20.00	20.30	20.10	19.60		—	19.85	20.00	20.10	nicht meßbar!					7	
18.00	20.40	20.55	20.35	20.10	—	—	19.90	20.10	20.10	Windstille!					8	
3. 8. 39	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*		Messungshorizonte
8.52	15.40^{2}	14.75^{1}	14.80^{1}	16.20^{2}	—	—	18.05^{1}	19.30	21.70^{2}	295	272	243	**229**	—	1	30. Beob.-Tag **3. 8. 39** Insel „Oie“.
9.56	15.85^{2}	16.10^{1}	15.55^{1}	16.80^{2}	—	—	18.50	19.00	19.90	209	194	182	**164**	—	2	Wetter: bewölkt ci, ast, acu, cu, st 2—9.
10.58	16.10^{1}	16.35^{1}	16.15^{1}	17.40^{1}	—	—	19.00	19.45	20.20	165	150	150	149	—	3	Wind: bis **11.48** SWzW, dann ESE—EzN.
11.48	17.10^{2}	17.40	16.95^{1}	20.50^{6}	—	—	19.50	20.40	20.95	nicht meßbar!					4	See: bis **11.48** abnehmend 2—< 1 dann zunehmend 1—3.
14.01	17.10	17.20^{3}	17.60^{1}	17.95^{2}	—	—	19.65	20.25	20.75^{5}	367	352	318	**288**	—	5	
14.58	17.00^{1}	17.05^{1}	17.40^{1}	18.00^{2}	—	—	20.25	20.60	21.20^{1}	435	411	365	**348**	—	6	
15.59	17.40^{2}	17.60^{1}	17.65	18.05^{1}	—	—	20.60	20.70	21.35	457	434	385	**368**	—	7	
17.01	17.95^{2}	18.30	18.20^{1}	18.45^{2}	—	—	20.65	20.85	21.05	455	431	380	**368**	—	8	
18.00	17.95^{1}	18.25^{1}	18.20^{1}	18.50^{1}	—	—	20.60	20.75	20.85	426	401	357	**327**	—	9	
19.01	17.90	18.30	$18.40^{0.5}$	18.25	—	—	20.30	20.45	20.60	529	496	443	**409**	—	10	
20.21	17.90	18.50	—	18.55	—	—	20.25	20.65	20.65^{2}	630	593	525	**481**	—	11	
21.38	17.95^{1}	18.40	—	17.75	—	—	19.70	19.95^{1}	20.75^{2}	644	600	532	**490**	—	12	

Noch: Tabelle 1a.

Zeit	Lufttemperaturen °C					Wassertemperaturen °C				Windgeschw. cm/sec					Serie	Bemerkungen
Tag, St.	in: [cm]					in: [cm]				in: [cm] Höhe					Nr.	
8. 8. 39	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*		Messungshorizonte
8.24	18.85[1]	20.30	—	20.45[1]	—	—	20.15	20.30	19.70	509	470	408	**389**	- -	1	31. Beob.-Tag 8. 8. 39 Insel „Oie“.
9.04	18.55	19.40	—	19.40[2]	—	—	19.25	19.10	18.70	570	524	455	**423**	- -	2	Wetter: heiter ci 1, ab 16.00 cist acu 4.
10.01	18.60	19.10	- -	18.60	—	—	18.90	19.40	18.65	521	485	426	**405**		3	Wind: SSE—ESE.
11.04	18.55	18.75	—	18.45[2]	—	—	19.15	19.55	18.65	390	360	316	**297**	—	4	See: zunehmend 1—4.
11.57	18.65[1]	18.85[1]	—	18.40[2]	—	—	19.10	19.40	18.45	370	343	306	**278**	—	5	
13.44	19.40[1]	19.35	—	19.80	—	—	19.45	20.05[1]	19.65	525	491	427	—	—	6	
14.57	19.55[1]	19.85[2]	—	19.85	—	—	19.75	20.15	19.65	645	606	529	**469**	—	7	
16.00	19.15[1]	19.50	20.25	19.40	—	—	19.65	20.15	19.55	765	668	580	**517**	—	8	
16.59	19.10	19.45	19.60[1]	19.30[1]	—	—	19.70	20.20	19.50	850	788	685	**609**	-	9	
18.00	19.05	19.45	19.30	19.25	—	—	20.05	20.45	19.75	865	800	696	**618**	- -	10	

V. Anhang.

Aufstellung sämtlicher Beobachtungsserien
der vertikalen Verteilung von Windgeschwindigkeit, Temperatur und Feuchte
über dem Sakrower See und der Ostsee (Insel Greifswalder Oie).

Anmerkungen.

1. Die Zahlen im Exponent der Temperaturen geben den Betrag der Temperaturunruhe in $\pm \frac{1^{\circ}}{10}$ C an.
2. Die eingeklammerten Beträge der Windgeschwindigkeit ( ) sind Registrierungen eines falsch anzeigenden Anemometers.
3. Die in der Spalte: Windgeschw. fett gesetzten Werte sind reduzierte Windgeschwindigkeitsregistrierungen eines falsch anzeigenden Anemometers.

Temperatur- und Windmessungen in den untersten Metern über dem Sakrower See.

Zeit, Tag, Stunde	Lufttemperaturen °C in: [cm]					Wassertemperaturen °C in: [cm]				Windgeschw. m/sec in: [cm] Höhe					Feuchte in 60 cm F%	Feuchte in 60 cm e mm	Uhrzeit	Serie Nr.	Bemerkungen
18. 11. 38	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*214*	*128*	*64*	*32*	*16*					Messungshorizonte
09.26	6.40[1]	6.70[3]	6.83[3]	6.75[3]	7.36[3]	8.85	9.46	9.80	9.80	Windstille!					.	.	.	1	1. Beob.-Tag 18. 11. 38.
10.03	6.60[1]	7.40[3]	7.40[3]	7.65[3]	8.13[3]	9.13	9.30	9.60	9.60	nicht registriert!					.	.	.	2	Wind: SE—S.
11.53	8.15[1]	8.10[3]	8.30[3]	8.00[3]	7.87[3]	—	9.18	9.50	9.48	2.66	2.40	2.27	(2.10)	1.98	.	.	.	3	Bewölk.: heiter — cist 4.
13.07	8.45[1]	8.52[3]	8.56[3]	8.48[3]	8.86[3]	—	9.16	9.40	9.40	2.88	2.62	2.47	(2.36)	2.03	.	.	.	4	um 11.53 stcu 8.
13.52	8.66[1]	8.70[3]	8.83[3]	9.10[3]	9.08[3]	—	9.30	9.53	9.48	1.91	1.78	1.69	(1.60)	1.51	.	.	.	5	
21. 11. 38																			2. Beob.-Tag 21. 11. 38.
16.06	8.10	8.32	8.38	8.54	8.58	—	8.53	8.95	8.92	2.44	2.31	2.23	(2.14)	1.97	.	.	.	1	Wind: SE.
17.04	8.06	8.28	8.30	8.56[5]	8.55	—	8.74[2]	9.15	9.06	1.80	1.69	(1.64)	1.47	1.38	.	.	.	2	Bewölk.: st, ast 9.
18.03	8.50	8.65	8.68	8.90[5]	9.00	—	9.23	9.50	9.59	2.16	1.94	1.82	(1.69)	1.72	.	.	.	3	um 18.56 st 6.
18.56	7.90	8.00	8.08	8.45	8.38	—	9.10	9.20	9.25	1.83	1.55	1.35	(1.50)	1.41	.	.	.	4	
22. 11. 38																			3. Beob.-Tag 22. 11. 38.
10.12	7.73	8.08	8.03	8.13	7.86*	—	8.77	9.13	9.03	—	5.48	4.92	—	—	.	.	.	1	Wind: SSW. Bewölk.: stcu, ast 7—8.
10.57	7.26	7.43	7.60	7.68	7.97*	—	8.55	8.90	8.80	—	4.06	3.74	—	—	.	.	.	2	* = oft eingetaucht!
23. 11. 38	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*214*	*128*	*64*	*32*	*20*					Messungshorizonte
16.17	9.80[0.5]	9.60[0.5]	9.10[0.2]	9.50[0.4]	9.40	—	8.30	8.40	—	nicht meßbar!					70	6.3	16[34]	1	4. Beob.-Tag 23. 11. 38. Wind: SSW—SSE.
17.01	10.20	10.30	9.90[0.2]	9.90	9.80	—	8.10	8.20	8.10	1.42	1.33	1.22	(1.18)	1.00	66	6.1	17[18]	2	Bewölk.: st 5—8.
18.01	10.00	10.00	9.70	9.45	9.60	—	8.10	8.30	8.20	2.76	2.58	2.44	(2.31)	1.92	66	6.1	18[18]	3	Um 19.11: Wind SW.

19.02	10.00	9.90	9.90	9.30	8.50	—	8.05	7.60	8.20	3.98	3.70	3.41	(3.33)	2.80	.	.	.	4	Wolkenbruchartige Regenbö!
19.11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7.61	7.00	6.40	(6.35)	5.12	.	.	.	—	
24. 11. 38																			24. 11. 38.
09.20	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.68	3.40	3.24	(3.15)	2.31	.	.			
10.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5.44	5.04	4.53	(4.61)	3.72	.	.	.	.	Wind: Sonderbeobachtung
10.45	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5.60	5.13	4.63	(4.61)	3.73	.	.	.	.	SW.
27. 11. 38																			
14.57	7.70	7.80	7.56	7.24	7.76	—	8.08	8.09	8.16			Windstille !			.	.	.	1	5. Beob.-Tag 27. 11. 38.
15.55	6.80	6.90	6.67	6.34	6.90	—	7.97	7.94	8.10			Windstille !			.	.	.	2	Bewölk.: stcu, ast 4 ∞.
16.55	5.74	5.95	1.5 5.74	1.6 5.41	1.6 6.13	—	7.93	7.91	8.05			Windstille !			.	.	.	3	stcu, ast 6 (dunkel).
17.55	5.65	0.7 5.77	1.5 5.67	1.6 5.35	1.6 5.97		7.83	7.85	7.95	.		Windstille !			.	.	.	4	st 8 9.
18.53	5.70	5.80	1 5.70	1.6 5.60	6.05	—	7.75	7.76	7.90			Windstille !			.	.	.	5	st 10, vereinz. Sprühregen.
20.55	1 5.45	0.7 5.57	1.5 5.50	1.6 5.46	2.2 5.80	—	7.70	7.60	7.70			Windstille !			.	.	.	6	stcu 3.
21.55	1 4.86	4.84	1.5 4.93	1.6 4.82	5.04	–	7.63	7.70	7.70			Windstille !			.	.	.	7	st 5.
23.09	4.96	5.02	5.04	1.6 5.14	5.60	—	7.61	7.67	7.60			Windstille !			.	.	.	8	st 3.
23.55	4.00	0.7 4.12	1.5 4.14	2.2 4.15	2.2 4.75	—	7.61	7.67	7.75			Windstille !			.	.	.	9	st 1.
28. 11. 38																			6. Beob.-Tag 28. 11. 38.
00.52	1 3.10	1.5 3.33	2 3.22	2.2 3.40	2.2 3.90	—	7.60	7.70	7.76			Windstille !			.	.	.	1	Bewölk.: wolkenlos.
05.08	2.5 1.90	2.5 2.07	3.2 1.80	4.2 2.00	4.2 3.13	—	7.62	7.76	8.00	1.97	1.80	1.81	(1.67)	1.37	.	.	.	2	Wind: SSW, wolkenlos, See dampft !
05.52	3.2 1.67	1.5 1.67	2.5 1.76	2.2 2.40	3.2 3.68	—	7.75	7.90	8.10	2.85	2.58	2.53	(2.43)	1.99	.	.	.	3	Wind: Nebel über 2 m hoch.
06.59	3 2.02	2.2 2.15	4.5 2.35	3.5 2.09	3.2 3.53	—	7.65	7.79	8.11	3.09	2.86	2.71	(2.66)	2.21	.	.	.	4	Wind: wolkenlos, Nebel verzogen.
07.54	2.5 1.83	2.7 1.98	2.2 1.95	1.7 1.72	3.05	—	7.61	7.90	8.03	2.35	2.13	2.11	(1.98)	1.63	.	.	.	5	Wind: wolkenlos, Nebel verzogen.

Zeit, Tag, Stunde	Lufttemperaturen °C in: [cm]					Wassertemperaturen °C in: [cm]				Windgeschw. m/sec in: [cm] Höhe					Feuchte in 60 cm F%	Feuchte in 60 cm e mm	Uhrzeit	Serie Nr.	Bemerkungen
29. 11. 38	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*214*	*128*	*64*	*32*	*20*					Messungshorizonte
																			7. Beob.-Tag 29. 11. 38.
10.37	2.18	2.40	2.7 2.45	2.5 2.65	4 3.57	—	7.85	7.97	8.15		nicht meßbar !				.	.	.	1	Bewölk.: heiter, Nebelschwaden.
11.12	0.7 2.41	1.7 2.90	2.5 2.59	2.5 2.55	2.7 3.40	—	7.70	7.90	8.23	1.50	1.01	0.95	(0.74)	0.70	.	.	.	2	Wind: E, See raucht schwach.
12.04	0.5 3.90	1.7 4.30	3 4.20	1.7 3.67	2 4.80	-	7.70	7.84	7.92	2.17	2.07	2.01	(1.84)	1.57	.	.	.	3	Wind: S örtl. u. zeitl. versch.,
13.04	5.27	1 5.45	5.43	1 5.50	1.7 5.95	—	7.55	7.65	7.80		nicht meßbar !				.	.	.	4	Gelegentl. Windstöße aus S.
14.00	0.6 5.70	0.5 5.75	5.93	5.84	1 5.95	—	7.12	7.20	7.30		nicht meßbar !				.	.	.	5	Gelegentl. Windstöße aus S.
15.00	5.00	5.05	5.22	0.7 4.92	0.5 5.20	—	7.20	7.32	7.35		Windstille !				.	.	.	6	Windstille.
16.00	0.5 5.17	0.7 5.08	4.97	0.7 5.08	0.8 5.60	—	7.30	7.45	7.50		nicht meßbar !				.	.	.	7	Sonnenunterg., Holzteile beschlagen !
30. 11. 38																			8. Beob.-Tag 30. 11. 38.
10.08	0.5 3.74	0.7 3.78	1.3 4.10	2 3.85	2 4.76	—	7.39	7.50	7.62	3.40	3.10	3.01	(2.85)	2.32	.	.	.	1	Wind: SW. Bewölk.: st 10.
11.01	1.5 3.70	2.6 3.94	2.5 3.97	2.7 4.13	2 4.38	—	7.23	7.30	7.37	2.99	2.76	2.67	(2.51)	2.06	.	.	.	2	st 8.
12.01	0.7 4.35	1.3 4.50	2 4.65	2 4.75	2.5 5.15	-	7.15	7.25	7.30	3.50	3.21	3.06	(2.96)	2.40		.	.	3	stcu 10.
13.01	1' 5.00	1.6 5.15	0.7 5.25	1.5 5.25	1.2 5.62	—	7.15	7.27	7.25	2.34	2.19	2.12	(1.97)	1.60	.	.	.	4	stcu 10.
14.00	0.6 5.45	0.5 5.42	1.2 5.70	1 5.65	1 6.07	—	7.08	7.20	7.21	2.34	2.20	2.16	(1.98)	1.68	.	.	.	5	st, stcu 10.
1. 12. 38																			9. Beob.-Tag 1. 12. 38.
10.03	6.85	6.90	6.65	0.5 6.45	2.5 6.00	* —	7.05	7.08	7.03	5.04	4.61	4.21	(4.12)	3.31	.	.	.	1	Wind: SW, Bewölk.: st, stcu 10.
10.59	7.25	7.30	7.18	6.95	3 6.15	* —	—	7.10	7.10	5.20	4.78	4.40	(4.36)	3.49	.	.	.	2	stcu 5.
12.00	8.20	0.5 8.23	8.00	7.62	1.5 6.40	* —	—	7.05	7.04	6.60	6.10	5.46	(5.40)	4.43	.	.	.	3	Wolkenlos.
13.00	8.32	0.6 8.23	8.20	7.73	1.3 6.48	* -	—	7.00	6.98	6.01	5.55	5.00	(4.98)	4.05	.	.	.	4	Wolkenlos * oft überspült !

14.00	0.6 8.30	0.5 8.20	0.6 8.02	7.00	—	—	—	6.93	6.98	5.38	4.90	4.50	(4.43)	3.64	.	.	.	5	ast 2.
14.59	0.5 7.75	7.77	7.73	7.44	–	—	—	6.86	6.90	6.60	6.09	5.47	(5.42)	4.41	.	.	.	6	ast 3.
15.50	7.15	7.10	7.10	6.17	–	—	—	6.87	6.92	4.47	4.12	3.85	(3.74)	2.80	.	.	.	7	Sonne untergeg. st, stcu, ast 3.
18. 5. 39	*128*	*73*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*- 30*	*202*	*131*	*66*	*32*	*16*					Messungshorizonte 10. Beob.-Tag 18. 5. 39.
09.10	15.90	16.10	15.35	1 15.20	1 15.40	13.50	13.35	13.40	13.35	3.18	2.98	2.66	(2.57)	2.23	.	.	.	1	Wind: S. Bewölk.: cu, ci 5.
10.06	1 16.50	2 16.60	2 16.30	2 16.15	2 15.65	13.60	13.45	13.65	13.50	3.07	2.86	2.57	(2.45)	2.11	.	.	.	2	cu 5.
11.04	3 16.00	16.20	15.90	16.05	16.15	13.80	13.80	14.00	13.90	3.03	2.84	2.63	(2.45)	2.21	.	.	.	3	cu 5.
13.37	1 17.15	16.95	16.40	16.20	16.05	13.90	13.35	13.75	14.10	4.06	3.78	3.42	(3.23)	2.85	.	.	.	4	cuni, ast 9.
14.07	17.70	2 17.25	16.50	16.50	16.30	13.75	13.55	14.00	13.80	2.37	2.12	1.78	(1.71)	1.43	.	.	.	5	cuni, ast 10.
15.03	16.70	15.90	15.60	16.15	16.50	14.80	14.80	14.45	14.65	nicht meßbar !					.	.	.	6	ast, cuni 8, kurzer Regen.
15.40	17.75	17.85	17.55	17.40	17.55	14.35	14.80	14.40	14.65	2.85	2.70	2.45	(2.42)	2.11	.	.	.	7	st, cuni 8.
24. 5. 39	*161*	*107*	*65*	*49*	*37*	*0*	*– 2*	*– 5*	*– 30*	*219*	*131*	*66*	*46*	*32*					Messungshorizonte 11. Beob.-Tag 24. 5. 39.
10.39	16.00	15.90	15.80	15.45	15.45	—	13.60[1]			8.61	7.95	7.47	(7.14)	6.63	.	.	.	1	Wind: N. Bewölk.: cu 4.
11.29	16.50	16.30	16.15	15.85	15.90	—				8.68	7.95	7.43	(7.17)	6.40	.	.	.	2	cu, ast 6.
25. 5. 39	*128*	*73*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*202*	*131*	*66*	*32*	*16*					Messungshorizonte 12. Beob.-Tag 25. 5. 39.
13.00	12.45	12.65	12.10	12.30	11.50	—	13.20	12.50	13.05	3.62	3.46	3.15	(3.09)	2.62	.	.	.	1	Wind: N. Bewölk.: st 10.
13.33	12.00	12.25	11.75	12.05	10.95	—	13.05	12.35	12.85	4.38	4.15	3.82	(3.73)	3.17	.	.	.	2	st 10.
14.04	11.70	12.00	11.55	11.80	10.75	—	13.15	12.45	12.95	4.54	4.34	3.97	(3.92)	3.36	.	.	.	3	st 10.
14.35	11.70	11.80	11.45	11.60	10.95	—	13.15	12.45	12.95	4.63	4.42	4.01	(3.94)	3.35	.	.	.	4	st 10.
15.07	11.60	11.80	11.45	11.70	10.75	* —	13.00	12.35	12.85	5.14	4.84	4.45	(4.32)	3.72	.	.	.	5	st 10, * oft überspült.
15.47	11.50	11.70	11.35	11.70	11.70	* —	12.95	12.35	12.80	5.03	4.70	4.44	(4.30)	3.75	.	.	.	6	st 10, * oft überspült.

[1]) mit Hg-Thermometer gemessen. Ablesungen auf $\sim {}^{3}/_{10}{}^{\circ}$ ungenau wegen großer Bootsschwankungen.

Zeit, Tag, Stunde	Lufttemperaturen °C in: [cm]					Wassertemperaturen °C in: [cm]				Windgeschw. m/sec in: [cm] Höhe					Feuchte in 60 cm F%	Feuchte in 60 cm e mm	Uhrzeit	Serie Nr.	Bemerkungen
31. 5. 39	*128*	*73*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*– 5*	*– 30*	*202*	*131*	*66*	*32*	*16*					Messungshorizonte 13. Beob.-Tag 31. 5. 39.
08.13	16.80	17.00	16.50	16.95	17.00 (5)	15.90	16.00	15.25	15.50		nicht meßbar!				54	7.2	8^{00}	1	Wind: W, wolkenlos.
09.07	17.15 (8)	17.65 (5)	16.85 (7)	17.25 (2)	16.75 (6)	15.35	15.40	14.75	15.80	2.32	2.18	2.00	(1.84)	1.70	52	7.8	8^{30}	2	Wind: W, wolkenlos.
10.06	17.30 (5)	17.15	17.25	17.75	17.55	16.30	16.85	16.25	16.40		nicht meßbar!				48	7.1	9^{30}	3	Wind: W, wolkenlos.
11.10	17.80	18.10	17.90	18.35	18.00 (2)	16.50	16.90	16.10	16.00		nicht meßbar!				46	7.5	10^{30}	4	Wind: W, wolkenlos.
12.04	19.05 (2)	18.90	18.85 (4)	18.60 (2)	18.50	15.85	16.30	15.70	16.00	4.45	4.27	3.64	(3.60)	3.40	38	6.7	11^{35}	5	Wind: W, wolkenlos.
13.46	19.00 (2)	19.10 (2)	18.65 (3)	18.70 (4)	18.20 (3)	14.85	15.20	14.75	15.05	3.60	3.45	3.12	(3.05)	2.65	39	6.9	12^{23}	6	Wind: W, wolkenlos.
15.10	19.55 (2)	19.55 (5)	18.95 (4)	18.35 (3)	17.95 (4)	15.20	15.55	15.10	15.45	3.97 3.50	3.75 3.35	3.40 2.98	(3.32) (2.82)	2.87 —	36	6.6	14^{10}	7	Wind: W, wolkenlos.
16.18	20.50 (2)	20.20 (2)	19.70 (2)	20.15 (5)	20.05 (5)	16.15	16.45	15.95	16.25	2.87	2.68	2.45	(2.28)	-	37	6.7	15^{30}	8	Wind: W, wolkenlos.
17.10	20.70	20.05 (2)	19.90 (5)	20.20 (5)	19.50 (6)	16.05	16.45	15.90	16.15	2.33	2.15	2.01	(1.84)	–	39	7.2	16^{40}	9	Wind: W, wolkenlos.
18.06	20.45 (1)	20.10 (3)	20.25 (3)	20.00 (3)	19.80 (4)	16.20	16.60	16.05	16.40	2.45	2.31	2.14	(2.02)	-	40	7.3	17^{30}	10	Wind: W, wolkenlos.
18.53	20.15	19.85 (3)	19.70 (2)	19.45 (4)	19.55 (4)	16.05	16.55	16.00	16.30	2.04	1.73	1.70	(1.45)	–	41	7.4	18^{30}	11	Wind: W, wolkenlos.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	47	8.1	19^{12}	.	Wind: W, wolkenlos.
1. 6. 39																			14. Beob.-Tag 1. 6. 39.
08.19	18.30	18.50	17.85	18.60 (2)	18.30 (1)	16.80	17.20	16.50	16.25		Windstille!				41	6.6	8^{10}	1	Wind: N. Bewölk.: heiter.
09.06	19.40 (4)	18.80 (2)	18.50	18.90 (2)	19.70 (1)	16.90	16.80	16.40	15.40		nicht meßbar!				47	7.8	9^{28}	2	Heiter.
10.10	19.40	20.00 (2)	20.05 (2)	19.80 (2)	20.75 (7)	18.00	18.00	17.25	17.05	2.38	2.65	2.51	(2.45)	2.10	42	7.3	10^{35}	3	cu 1.
11.05	18.60	19.05	18.90	18.70 (2)	18.70 (3)	17.20	17.40	16.80	17.00	2.25	2.07	2.03	(1.74)	1.58	44	8.1	11^{23}	4	cu 2.

12.08	19.85	20.35	20.60	20.10	19.50	17.95	18.10	17.40	17.45	2.20	1.98	1.90	(1.70)	1.54	42	8.0	12	5	cu 2.
12.58	20.50	20.20	19.80	19.90	20.10	18.25	18.50	17.90	18.00	2.42	2.25	2.11	(1.91)	1.68	42	8.1	13	6	cu 3.
15.06	22.60	22.45	21.80	21.55	20.75	–	18.80	18.25	18.45	3.02	2.85	2.60	(2.47)	2.12	39	8.0	15	7	cu 4.
16.06	22.45	21.70	21.50	21.70	21.25		18.80	18.20	18.45	3.75	3.55	3.15	(3.01)	2.55	42	8.7	16	8	cu, cist 5.
17.04	21.90	21.15	21.20	20.30			18.10	17.55	17.80	2.80	2.61	2.27	(2.08)	1.74	40	8.4	17	9	cu, cist 5.
18.04	22.70	22.65	22.55	22.35	21.70		17.85	17.30	17.60	1.94	1.64	1.60	(1.21)	1.32	35	7.3	18	10	cu, cist 5.
19.01	20.55	20.40	20.45	20.15			17.70	17.15	17.45	5.43	5.15	4.70	(4.54)	3.86	64	11.5	19	11	acu 5.
19.58	18.40	18.20	18.10	18.10	—		17.25	16.70	17.00	4.77	4.60	4.24	4.14	3.51	59	9.2	20	12	stcu 4.
5. 6. 39																			15. Beob.-Tag 5. 6. 39.
14.46	23.85	23.85	23.70	23.60	24.35		21.70	21.10	21.00	2.58	2.45	2.27	(2.00)	1.84	40	9.0	15	1	Wind: W. Bewölk.: cu 2.
15.50	24.20	24.25	23.75	23.85	23.65		21.90	21.25	21.60	2.55	2.41	2.25	(2.10)	1.85	41	9.3	16	2	cu 1.
17.08	24.40	24.20	23.70	24.15	24.50		21.95	21.20	21.60	1.55	1.36	1.44	(1.27)	1.26	46	10.5	17	3	∽
18.02	23.55	23.80	23.50	23.30	22.85	–	21.45	20.80	21.20		nicht meßbar !				53	11.7	18	4	∽
19.01	22.00	21.10	21.75	21.90	21.95		21.90	21.25	21.60		Windstille !				76	14.8	19	5	Heiter.
19.54	20.65	20.75	20.60	20.75	20.80		22.35	21.75	22.05		Windstille !				71	12.6	20	6	Heiter.
21.07	18.80	18.75	18.50	18.75	18.90		22.30	21.65	22.05		Windstille !				72	11.4	21	7	Heiter.
22.01	17.50	17.80	17.60	17.75	18.15		22.25	21.70	22.00		Windstille !				85	12.2	22	8	Heiter.
23.03	16.40	16.50	16.30	16.70	17.20		22.20	21.65	21.95		Windstille !				87	12.0	23	9	Heiter.
6. 6. 39																			16. Beob.-Tag 6. 6. 39.
08.25	23.00	22.20	21.65	21.75	22.40		21.45	20.80	21.40		Windstille !				60	11.9	8	1	Wind: S. Heiter.
09.30	23.05	22.50	22.45	22.05	23.20		21.40	20.90	22.20		Windstille !				53	11.7	9	2	Heiter.
10.30	24.00	23.70	23.50	23.00	23.40	–	20.90	20.30	20.60	3.35	3.20	2.86	(2.85)	2.41	46	10.7	10	3	Heiter.

Zeit, Tag, Stunde	Lufttemperaturen °C in: [cm]					Wassertemperaturen °C in: [cm]			Windgeschw. m/sec in: [cm] Höhe					Feuchte in 60 cm F%	Feuchte in 60 cm e mm	Uhrzeit	Serie Nr.	Bemerkungen
11.58	25.35 (1)	25.00 (2)	24.75 (2)	23.90 (3)	23.80 (2)	—	21.20	20.70	20.90	3.02	2.85	2.60	(2.52)	2.25	45	11.2	12 (15)	4	cu 1.
12.51	26.00 (3)	25.65 (2)	25.40 (4)	24.70 (2)	24.40 (4)	-	21.50	21.00	21.20	nicht meßbar !					44	11.4	13 (08)	5	cu 2.
13.56	26.00 (2)	25.65 (1)	25.30 (2)	25.40 (2)	25.00 (3)	—	22.00	21.40	21.60	2.33	2.20	1.93	(1.76)	1.58	41	10.8	14 (12)	6	cu 1.
14.50	27.10 (6)	26.40 (2)	26.70 (3)	25.70 (3)	26.20 (7)	—	22.55	22.00	22.40	nicht meßbar !					37	10.0	15 (05)	7	cu 1.
17.08	25.80 (4)	25.60 (4)	25.65 (5)	25.60 (2)	25.45 (2)	-	23.30	22.80	22.75	nicht meßbar !					37	10.4	17 (27)	8	Heiter.
18.05	26.70 (1)	26.00	26.15	25.90 (1)	25.10	—	23.55	23.10	22.30	Windstille !					66	16.5	18 (15)	9	Heiter.
18.58	23.15	23.15	23.30	23.30	23.40	—	23.20	22.70	22.20	Windstille !					69	16.0	19 (10)	10	Heiter.
19.45	22.50 (2)	22.50	22.50	22.65	22.65	-	23.60	23.00	23.05	Windstille !					71	14.7	20 (00)	11	Heiter.
7. 6. 39																			17. Beob.-Tag 7. 6. 39.
07.47	21.40	21.80	21.55	21.70	22.05	—	21.50	20.90	21.20	2.78	2.64	2.40	(2.35)	1.98	59	11.6	7 (42)	1	Wind: S, heiter.
08.47	23.60 (2)	23.50 (2)	23.35 (2)	23.10 (1)	23.35	-	21.45	20.90	21.20	2.64	2.46	2.24	(2.15)	1.87	50	11.4	9 (00)	2	Heiter.
09.48	24.60 (1)	24.65 (3)	24.50 (2)	24.10 (1)	—	—	20.90	20.20	20.55	4.78	4.54	3.56	(4.00)	3.38	43	10.3	10 (02)	3	Heiter.
10.47	25.40 (3)	24.90 (2)	25.20 (3)	24.70 (3)	—	—	20.80	20.20	20.50	4.37	4.14	3.72	(3.65)	3.08	36	9.1	11 (02)	4	Heiter.
11.48	25.15 (2)	25.00 (3)	25.05 (4)	24.40 (3)	—	—	20.80	20.10	20.60	5.02	4.66	4.52	(4.10)	3.40	36	9.4	12 (05)	5	Heiter.
12.48	25.40	25.10	24.40	25.10	—	-	20.60	20.10	20.50	4.52	4.28	3.90	3.82	3.28	32	8.9	13 (13)	6	Heiter.
8. 6. 39																			18. Beob.-Tag 8. 6. 39.
08.17	21.80	22.10	21.65	21.55	22.10	—	22.25	21.55	21.80	2.47	2.30	2.13	(2.02)	1.75	57	11.5	8 (30)	1	Wind: N, heiter.
08.59	22.90	23.15	22.85	22.30	22.70	—	21.50	20.90	21.10	2.03	1.85	1.70	(1.45)	1.37	63	13.8	9 (15)	2	Heiter.

09.59	1 24.95	3 25.05	2 24.35	2 24.10	? 23.55	—	21.35	20.85	21.10	2.94	2.76	2.47	(2.34)	1.95	46	11.6	15 10	3	Heiter.
11.00	2 27.05	3 26.70	5 26.45	2 26.10	3 25.30	—	22.20	21.50	21.65	3.22	3.07	2.80	(2.71)	2.35	39	10.7	15 11	4	Heiter.
12.01	3 27.15	3 27.25	3 27.35	5 26.85	3 26.70	-	22.45	21.70	21.95	3.15	3.00	2.70	(2.57)	2.31	44	12.4	20 12	5	Heiter.
14.35	2 27.10	2 26.90	3 26.60	2 26.45	1 25.60	—	23.25	22.55	—	3.74	3.58	3.20	(3.10)	2.81	46	12.3	53 14	6	cu 1.
15.30	2 26.10	2 26.20	3 25.40	1 25.35	—	—	23.00	22.35	—	3.92	3.70	3.33	(3.22)	2.84	46	12.2	44 15	7	cu 1.
16.32	25.20	25.20	24.85	1 24.70	—	—	23.05	22.35	—	5.19	4.98	4.62	(4.44)	3.89	48	11.8	51 16	8	cu 1.
17.28	1 23.40	23.60	23.45	23.50	—	—	23.15	22.40	—	5.73	5.50	5.15	(4.97)	4.27	39	8.7	40 17	9	cu 1.
18.55	21.35	21.45	21.30	21.55	—	—	22.35	21.80	—	3.15	3.00	2.67	(2.57)	2.32	36	7.2	05 19	10	cist 2.
20.03	19.00	19.20	19.00	1 19.10	1 19.00	—	22.00	21.45	—	2.64	2.51	2.25	(2.17)	1.96	44	7.4	15 20	11	cist 2.
21.01	1 17.30	17.35	17.05	1 17.50	2 17.70	—	22.05	21.45	—	nicht meßbar !					53	8.2	15 21	12	cist 3.
22.35	2 15.30	2 15.35	2 15.30	2 15.65	4 15.90	—	22.50	21.90	—	Windstille !					55	7.5	52 22	13	cist 1.
9. 6. 39																			19. Beob.-Tag 9. 6. 39.
00.04	2 14.20	3 14.50	3 14.70	3 14.90	5 15.45	—	22.40	22.00	—	2.23	2.25	2.02	(1.95)	1.78	68	8.6	23 0	1	Wind: N, cist, ast 2.
01.36	2 12.80	2 12.85	4 13.00	4 13.50	6 14.55	—	22.40	22.55	—	2.70	3.62	3.15	(3.15)	2.88	77	8.7	57 1	2	ast 4.
03.07	2 11.15	4 11.45	6 11.40	6 12.00	7 12.65	—	22.60	23.30	—	2.22	2.05	1.80	(1.75)	1.70	77	7.7	25 3	3	cist 4.
04.02	3 10.00	3 10.10	3 10.20	5 10.70	6 11.60	—	22.60	23.45	—	2.34	2.18	1.92	(1.77)	1.72	84	8.0	15 4	4	cist 4.
05.02	4 9.50	4 10.00	6 10.20	7 10.70	8 11.50	—	22.40	23.40	-	2.38	2.29	2.10	(1.98)	1.86	80	7.6	17 5	5	cist 1.

Temperatur- und Windmessungen in den untersten Metern über der Ostsee (Insel Oie).

Zeit, Tag, Stunde	Lufttemperaturen °C in: [cm]					Wassertemperaturen °C in: [cm]				Windgeschw. m/sec in: [cm] Höhe					Feuchte in 60 cm F%	Feuchte in 60 cm e mm	Uhrzeit	Serie Nr.	Bemerkungen
14. 7. 39	*140*	*76*	*44*	*28*	*16*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*225*	*128*	*64*	*45*	*29*					Messungshorizonte 20. Beob.-Tag 14. 7. 39.
15.09	18.35	18.20[1]	17.95	17.60[3]	17.20[2]	-	17.80	18.25	18.05	2.61	2.34	2.06	(2.14)	1.85	89	14.1	15[25]	1	Wind: SE—SSE / ast 7.
15.58	18.20	18.00	17.75	17.35[2]	17.00	-	16.65	18.30	17.80	2.14	1.86	1.66	(1.74)	1.50	87	13.8	16[14]	2	ast 7 / Seegang: ≈ 1.
17.00	18.40	18.10	18.00	17.75	16.70[2]	-	17.45	18.30	18.05	2.40	2.10	1.85	(1.95)	1.68	88	13.8	17[15]	3	ast, acu 5.
18.00	18.40	18.40	18.05	17.80[2]	17.70	-	16.70	17.20	17.40	2.95	2.65	2.30	(2.45)	2.10	86	13.7	18[15]	4	acu 3.
19.00	17.95	17.75	17.55	17.35[3]	17.40	-	16.70	17.30	17.15	1.96	1.77	1.69	(1.75)	1.56	88	13.9	19[15]	5	ast, acu 3.
15. 7. 39	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*					Messungshorizonte 21. Beob.-Tag 15. 7. 39.
09.05	18.60[1]	18.25	18.15	18.15[1]	—	-	18.35	18.60	18.70	3.12	2.95	2.63	**2.34**	2.26	94	14.6	9[21]	1	Wind: SE / cist 5.
09.58	18.20	18.00	18.00	17.85	—	-	17.50	17.90	17.95	3.09	2.83	2.50	**2.34**	2.15	93	14.7	10[15]	2	Seegang: 1, cist 6.
11.04	18.40	18.20	18.30	18.20	—	-	17.90	18.35	18.20	3.13	2.90	2.55	**2.33**	2.13	91	14.6	11[20]	3	cist, acu 5.
11.49	17.95	17.90	17.90	17.90	—	-	17.35	17.70	17.55	3.32	3.10	2.74	**2.52**	2.31	91	15.1	12[05]	4	cist, cicu 3.
13.42	18.30	18.30	18.60	18.80	—	—	19.40	19.60	19.45	3.85	3.65	3.27	**3.02**	2.75	91	15.6	14[00]	5	ci, cu 2.
14.58	19.05	19.05	19.20	18.75	—	—	19.35	19.60	19.30	4.97	4.68	4.11	**3.85**	3.52	90	16.0	15[15]	6	cist, cu 2.
15.56	19.50	19.30	19.50	19.10	—	—	19.75	19.95	19.80	5.67	5.37	4.78	**4.30**	4.10	90	15.9	16[10]	7	Seegang: 2, cist, cu 3.
17.03	19.20	19.15	19.20	19.00	—	-	19.60	20.00	19.75	4.80	4.60	4.10	**3.80**	3.44	88	15.3	17[30]	8	cist 7.
18.03	19.30	19.20	19.35	19.15	-	—	20.10	20.45	20.05	5.07	4.84	4.30	**4.02**	3.58	83	14.3	18[25]	9	cist, ast 7.
16. 7. 39																			22. Beob.-Tag 16. 7. 39.
13.57	21.20	20.50[3]	21.00	19.95	—	? 15.90	19.60	19.90	19.80	Windstille !					86	16.5	14[15]	1	cu, ast 2 / schwül, nach

15.00	21.60[8]	21.25	21.50[2]	21.30	—	·	19.75	20.10	18.45[3]	nicht meßbar!					72	15.2	15[20]	2	kurzem Gewitterregen. Inseleinfluß!
16.02	20.80	20.85	20.80	20.75[2]	—	—	18.60	18.85	18.45	Windstille!					75	15.2	16[15]	3	cist, ast, cu 6.
17.00	21.65	21.35[1]	20.90	20.70	—	—	18.85[2]	19.25[3]	18.65	Windstille!					88	16.6	17[30]	4	cist, ast 4. Starke Wasserströmung!
17.59	19.90	19.65	19.85	19.60	—	—	18.45	18.85	18.70	4.36	4.10	3.69	**3.52**	3.26	88	15.2	18[20]	5	Wind: NW, Inseleinfluß.
18. 7. 39	*140*	*76*	*44*	*28*	*16*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*					Messungshorizonte 23. Beob.-Tag 18. 7. 39.
10.05	18.80	18.80	19.15	18.80	19.40	—	18.80	19.00	18.85	7.23	6.70	5.87	**5.41**	4.95	75	12.4	10[25]	1	Wind: SW / cu 2.
11.08	19.65	19.40	19.55	19.20	19.50	—	18.65	18.65	18.50	5.56	5.17	4.48	**4.12**	3.84	—	—	—	2	Seegang: 3, cu 4.
	Höhenänderung der Anemometer:									*225*	*128*	*64*	*45*	*29*					Messungshorizonte
11.58	19.60	19.30	19.40	19.25	19.40	—	18.65	18.75	18.60	5.88	5.43	4.71	(4.97)	4.26	73	12.7	12[20]	3	cu 6.
13.25	19.90	—	—	19.50	19.60	—	18.95	19.20	18.90	6.20	5.80	5.18	(5.30)	4.70	68	12.2	13[45]	4	cu 3.
14.01	20.00	20.00	20.00	19.80	-	—	19.10	19.35	19.10	5.56	5.17	4.55	(4.78)	4.11	69	12.8	14[20]	5	cu, ast 3.
15.04	19.70	20.15	20.25	19.90	–	—	19.40	19.55	19.25	4.04	3.66	3.16	(3.27)	2.88	66	12.3	15[25]	6	cu, stcu 3.
16.12	19.35	19.50	19.60	18.10	—	—	19.60	19.70	19.45	—	—	—	—		-	—	—	7	Wind: N, Inseleinfluß. cu 1.
19. 7. 39	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*					Messungshorizonte 24. Beob.-Tag 19. 7. 39.
08.33	18.80	18.60	18.80	18.35		—	18.25	18.25	17.70	3.61	3.37	3.03	**2.72**	2.56	89	14.4	8[50]	1	Wind: SE—ESE / cist 4.
10.00	18.70	18.90	18.85	18.70[1]	—	—	18.60	19.10	18.40[1]	4.14	3.88	3.47	**3.14**	3.00	87	14.5	10[20]	2	Seegang: 1, cist 3.
11.00	19.60[1]	19.65[1]	19.75[1]	19.70		—	19.65	19.85[1]	19.10[1.5]	4.30	4.10	3.64	**3.34**	3.23	87	15.1	11[15]	3	cist 2.
11.50	19.65[1]	19.75[1]	19.90[1]	19.40[1]	—	-	19.10	19.35	18.70	5.12	4.90	4.35	**3.96**	3.74	87	15.5	12[00]	4	Seegang: 2, cist 1.
13.33	19.05[2]	19.55	19.40	18.80[2]	-	—	19.80	21.05[1]	19.60[2]	5.73	5.33	4.82	**4.38**	4.15	87	15.9	13[50]	5	cist 1.
15.00	19.55[1]	19.60[2]	20.20[1]	19.45[2]		—	21.50[1]	21.60	20.75[3]	6.27	5.86	5.23	**4.72**	4.44	88	16.2	15[15]	6	Seegang: 3, cist, acu 4.
16.03	19.90	19.85	20.05	19.50		—	20.80[2]	21.10[2]	20.60[1]	7.10	6.67	5.91	**5.40**	5.06	85	15.6	16[20]	7	cist 4.

Zeit, Tag, Stunde	Lufttemperaturen °C in: [cm]					Wassertemperaturen °C in: [cm]			Windgeschw. m/sec in: [cm] Höhe					Feuchte in 60 cm F%	Feuchte in 60 cm e mm	Uhrzeit	Serie Nr.	Bemerkungen
17.00	20.00	20.00	20.00	19.55	—	—	21.05	21.40	20.95	7.18	6.74	5.98	**5.40**	5.06	83	15.1	17^{15}	8	cist 4.
17.58	20.00	19.90	19.95	19.65	—	—	19.80	20.20	19.65	7.25	6.85	6.12	**5.53**	5.18	83	15.0	18^{15}	9	Seegang: 4, cist, ast, acu 5.
20. bis 21. 7. 39																			25. Beob.-Tag 20.—21. 7. 39.
20.32	19.40	19.50	19.25	19.10	—	—	19.95	19.95	19.30	2.68	2.47	2.26	**2.05**	1.95	95	16.0	20^{50}	1	Sonnenuntergang. Wind: ESE / ast, st 4.
21.58	19.10	18.85	18.60	18.40	—	—	19.90	19.50	17.70	3.88	3.56	3.16	**2.95**	2.67	96	16.1	22^{15}	2	Seegang: 1, ast, acu 2.
22.59	19.65	19.45	19.05	19.00	—	—	20.60	20.20	17.35	3.35	3.09	2.77	**2.50**	2.25	96	16.1	23^{20}	3	Heiter, starker Tau.
23.58	18.80	18.50	17.95	17.90	—	—	20.00	19.00	15.50	2.99	2.68	2.35	**2.18**	1.98	95	15.9	0^{15}	4	Heiter.
01.03	18.40	18.05	17.35	17.30	—	—	19.40	17.70	13.85	3.08	2.77	2.44	**2.22**	2.01	95	15.9	1^{30}	5	Heiter.
02.02	18.75	18.35	17.60	17.75	—	—	20.15	17.75	14.65	3.08	2.78	2.49	**1.98**	1.94	—	—	—	6	ast 3, Himmel etwas verschleiert.
03.02	18.45	17.95	17.30$^{0.5}$	17.25^{1}	—	—	20.40	18.50	14.40	1.57	1.29	1.36	(1.24)	1.06	97	16.1	3^{25}	7	ast, st 7, Morgenrot.
04.00	18.75^{2}	18.10^{2}	17.20^{2}	17.60^{4}	—	—	20.20^{3}	17.80	14.75	1.98	1.71	1.64	(1.68)	—	97	15.9	4^{15}	8	ast, st 8.
04.58	18.25	18.55^{1}	17.30^{2}	17.20^{3}	—	—	20.25^{2}	17.40	14.80	2.57	2.35	2.15	**1.95**	—	97	15.8	5^{15}	9	cist, ast, st 7.
05.58	18.60^{2}	18.35^{1}	17.20^{2}	17.30^{3}	—	—	20.05^{2}	17.25	15.00	3.48	3.21	2.82	**2.58**	—	96	15.6	6^{15}	10	cicu, acu, ziehende st-Bänke 6. Sonnenaufgang.
28. 7. 39																			26. Beob.-Tag 28. 7. 39.
14.08	18.70	18.90	19.15	18.80	—	—	19.30	19.30	20.00	6.44	6.02	5.34	**4.88**	4.47	77	13.5	14^{40}	1	Wind: W / heiter.
15.02	19.00	19.55	19.30	19.10	—	—	18.85	19.60	20.40	7.15	6.68	5.95	**5.45**	5.00	—	—	—	2	Seegang: 4, cu 1.
16.00	19.20	19.85	19.70	19.45	—	—	19.50	19.80	20.30	6.75	6.26	5.47	**5.07**	4.64	75	13.4	16^{20}	3	cist 2.
16.59	19.60	20.15	20.05	19.60	—	—	19.60	19.95	20.25	6.30	5.84	5.07	**4.69**	4.27	75	13.2	17^{20}	4	cist 3.

17.59	20.05	20.50	20.30	19.90	—	—	20.15	20.45	20.70	5.49	5.05	4.35	**4.20**	3.72	78	13.8	18[15]	5	cist 2.
19.04	19.70	20.10	19.95	19.50	—	—	19.60	19.75	19.90	5.46	5.07	4.43	**4.24**	3.75		–	–	6	cist 2. Am Vortage wehte N—NW-Wind nicht unter 5 BF. 27. Beob.-Tag 29. 7. 39.
29. 7. 39																			
09.32	18.15	18.70	18.35	18.00	—	—	19.15	19.25	20.10	–	5.45	4.80	**4.46**	**4.18**	.	.	.	1	Wind: WSW / st 10.
10.50	18.70	19.00	19.10	18.60	–	—	18.85	19.10	19.25	—	4.83	4.25	**4.02**	**3.84**	.	.	.	2	Seegang: 3, st, stcu 9.
11.50	19.25	19.45	19.50	19.15	—	—	19.25	19.50	19.50	-	2.37	2.10	**1.92**	**1.79**	.	.	.	3	cist, ast, stcu 8.
13.36	19.85	19.95	20.05	19.45	—	—	19.50	19.75	19.80	–	3.30	2.86	**2.65**	**2.48**	.	.	.	4	Seegang: 1, ast, stcu, cu 5.
14.48	20.10	20.45	20.25	19.95	—	—	19.45	19.65	19.65	nicht meßbar !					.	.	.	5	acu, stcu, cu 5 gewitterartig.
15.53	20.25	20.50	20.35	19.85	—	—	20.10	20.35	20.45	—	2.40	2.07	**1.92**	**1.79**	.	.	.	6	stcu, cuni. 8.
16.59	20.00	20.30	20.10	19.60	—	—	19.85	20.00	20.10	nicht meßbar !					.	.	.	7	ast 7. Seegang: < 1.
18.00	20.40	20.55	20.35	20.10	—	—	19.90	20.10	20.10	Windstille !					.	.	.	8	ci, ast, stcu, st 7.
30. 7. 39																			28. Beob.-Tag 30. 7. 39.
09.22	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Windstärke 1					.	.	.	1	Wind: S, heiter.
09.45	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.41	3.09	2.65	**2.52**	—	.	.	.	2	Temperaturen fielen aus wegen Kontaktstörungen ! heiter.
11.10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.36	3.03	2.63	**2.52**		.	.	.	3	
12.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.54	3.16	2.73	**2.61**	—	.	.	.	4	
2. 8. 39																			29. Beob.-Tag 2. 8. 39.
10.40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6.37	6.01	5.34	**4.88**		.	.	.	1	Wind: SW, st 9.
11.40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6.49	6.12	5.43	**4.97**	—	.	.	.	2	Temperaturen fielen aus wegen Kontaktstörungen ! Es wurde jedoch beobachtet, daß $t_L < t_W$.
13.35	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.80	3.60	3.16	**2.91**		.	.	.	3	
14.45	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.28	2.10	1.96	**1.66**		.	.	.	4	

Zeit, Tag, Stunde	Lufttemperaturen °C in: [cm]					Wassertemperaturen °C in: [cm]				Windgeschw. m/sec in: [cm] Höhe					Feuchte in 60 cm F%	Feuchte in 60 cm e mm	Uhrzeit	Serie Nr.	Bemerkungen
3. 8. 39	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*2*	*– 5*	*–30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*					Messungshorizonte 30. Beob.-Tag 3. 8. 39.
08.52	2 15.40	1 14.75	1 14.80	2 16.20			1 18.05	19.30	2 21.70	2.95	2.72	2.43	**2.29**	—	.	.	.	1	Wind: SWzW, cu, acu 9, Seegang: 2.
09.56	2 15.85	1 16.10	1 15.55	2 16.80				18.50	19.00 19.90	2.09	1.94	1.82	**1.64**	—	.	.	.	2	acu, cu, st 8, Seegang: 1.
10.58	1 16.10	1 16.35	1 16.15	1 17.40				19.00	19.45 20.20	1.65	1.50	1.50	**1.49**		.	.	.	3	ast, acu, cu, st 7.
11.48	2 17.10	17.40	1 16.95	6 20.50	—	—		19.50	20.40 20.95	nicht meßbar!				—	.	.	.	4	acu, cu 3.
14.01	17.10	3 17.20	1 17.60	2 17.95				19.65	20.25 5 20.75	3.67	3.52	3.18	**2.88**		.	.	.	5	Wind: ESE, cu, ci 2.
14.58	1 17.00	1 17.05	1 17.40	2 18.00		—		20.25	20.60 1 21.20	4.35	4.11	3.65	**3.48**		.	.	.	6	Wind: EzN, cist, acu 3.
15.59	2 17.40	1 17.60	17.65	1 18.05				20.60	20.70 21.35	4.57	4.34	3.85	**3.68**	—	.	.	.	7	cist, cu 5, Seegang: 2.
17.01	2 17.95	18.30	1 18.20	2 18.45				20.65	20.85 21.05	4.55	4.31	3.80	**3.68**	—	.	.	.	8	cist 7.
18.00	1 17.95	1 18.25	1 18.20	1 18.50				20.60	20.75 20.85	4.26	4.01	3.57	**3.27**		.	.	.	9	cist 7.
19.01	17.90	18.30	0.5 18.40	18.25				20.30	20.45 20.60	5.29	4.96	4.43	**4.09**		.	.	.	10	cist, ast 9.
20.21	17.90	18.50		18.55				20.25	20.65 2 20.65	6.30	5.93	5.25	**4.81**		.	.	.	11	cist, ast 7 } starke Wasserströmung.
21.38	1 17.95	18.40	—	17.75	—	—		19.70	1 19.95 2 20.75	6.44	6.00	5.32	**4.90**	—	.	.	.	12	cist 3 } starke Wasserströmung.
8. 8. 39																			31. Beob.-Tag 8. 8. 39.
08.24	1 18.85	20.30		1 20.45				20.15	20.30 19.70	5.09	4.70	4.08	**3.89**		.	.	.	1	Wind: SE, ci 1, Seegang: 1.
09.04	18.55	19.40	—	2 19.40	—	—		19.25	19.10 18.70	5.70	5.24	4.55	**4.23**	—	.	.	.	2	ci 1.
10.01	18.60	19.10		18.60				18.90	19.40 18.65	5.21	4.85	4.26	**4.05**		.	.	.	3	ci 1, Seegang: 2.
11.04	18.55	18.75		2 18.45				19.15	19.55 18.65	3.90	3.60	3.16	**2.97**		.	.	.	4	Wind: SSE, ci 1, Seegang: 1.

11.57	18.65	18.85	—	18.40	—	—	19.10	19.40	18.45	3.70	3.43	3.06	**2.78**	—	.	.	.	5	wolkenlos.
13.44	19.40	19.35	—	19.80	—	—	19.45	20.05	19.65	5.25	4.91	4.27	—	—	.	.	.	6	Wind: SEzE, Seegang: 2, wolkenlos.
14.57	19.55	19.85	—	19.85	—	—	19.75	20.15	19.65	6.45	6.06	5.29	**4.69**	—	.	.	.	7	ci 1, Seegang: 3.
16.00	19.15	19.50	20.25	19.40	—	—	19.65	20.15	19.55	7.65	6.68	5.80	**5.17**	—	.	.	.	8	Wind: ESE, cist 4, Seegang: 3.
16.59	19.10	19.45	19.60	19.30	—	—	19.70	20.20	19.50	8.50	7.88	6.85	**6.09**	—	.	.	.	9	cist 4, Seegang: 4.
18.00	19.05	19.45	19.30	19.25	—	—	20.05	20.45	19.75	8.65	8.00	6.96	**6.18**	—	.	.	.	10	cist, acu 4.
9. 8. 39																			32. Beob.-Tag 9. 8. 39.
08.44	18.15	19.40	—	19.30	—	—	18.15	20.95	20.00	6.67	6.26	5.45	**4.82**	—	.	.	.	1	Wind: ESE, ci 1, Seegang: 2 bis 3.
10.00	18.60	21.10	—	19.80	—	—	21.00	22.45	21.60	6.61	6.17	5.43	**4.88**	—	.	.	.	2	ci 2.
11.00	18.65	19.85	—	18.75	—	—	19.25	19.90	18.75	7.38	6.85	6.00	**5.32**	—	.	.	.	3	stcu 2, Seegang: 3.
11.56	18.70	19.90	18.95	19.35	—	—	18.90	19.25	19.05	7.50	6.89	6.05	**5.39**	—	.	.	.	4	cist 1.
13.40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8.11	7.54	6.52	**5.74**	—	.	.	.	5	stcu 1, Seegang: 4.
10. 8. 39																			33. Beob.-Tag 10. 8. 39.
10.46	18.25	18.15	—	18.55	—	—	19.55	19.35	20.15	2.26	2.08	1.90	**1.71**	—	.	.	.	1	Wind: WzS, stcu 1, Seegang: 1.
12.03	20.05	20.40	—	19.20	—	—	20.15	20.15	20.55	1.37	1.10	1.24	(1.23)	—	.	.	.	2	Wolkenlos.
13.14	19.55	19.85	—	19.45	—	—	19.80	20.10	19.75	nicht meßbar !					.	.	.	3	Wolkenlos, Seegang: 0.
14.03	20.35	20.35	—	19.75	—	—	21.00	20.85	20.80	Windstille !					.	.	.	4	Windstille, wolkenlos.
15.18	20.10	20.10	—	20.20	—	—	21.05	21.45	21.50	3.14	2.98	2.56	**2.55**	—	.	.	.	5	Wind: SE, wolkenlos.
16.00	19.95	20.05	—	20.00	—	—	21.30	21.25	20.95	3.38	3.15	2.75	**2.70**	—	.	.	.	6	Dünner cist-Schleier 5, Seegang: 1.
17.03	19.80	20.05	—	20.10	—	—	21.10	21.10	21.15	3.18	2.95	2.58	**2.54**	—	.	.	.	7	Dünner cist 4.
18.00	19.95	20.05	—	20.30	—	—	20.90	20.80	20.85	4.17	3.88	3.36	**3.38**	—	.	.	.	8	cist, stcu 3.

Zeit, Tag, Stunde	Lufttemperaturen °C in: [cm]					Wassertemperaturen °C in: [cm]				Windgeschw. m/sec in: [cm] Höhe					Feuchte in 60 cm F%	Feuchte in 60 cm e mm	Uhrzeit	Serie Nr.	Bemerkungen
11. 8. 39	*128*	*64*	*32*	*16*	*4*	*0*	*—2*	*—5*	*—30*	*212*	*128*	*64*	*32*	*18*					34. Beob.-Tag 11. 8. 39.
10.12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4.36	4.05	3.45	**3.48**	—	.	.	.	1	Wind: SSE—SE, cist 3.
11.03	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3.93	3.61	3.15	**3.06**	—	.	.	.	2	cist 2, Seegang: 1.
13.41	21.60	21.80^{3}	20.75^{2}	—	—	—	21.40	21.40	20.65	4.83	4.45	3.88	**3.66**	—	.	.	.	3	cist, cu 4.
14.48	21.90	22.65^{2}	21.55^{2}	—	—	—	22.45	22.35	21.50	4.63	4.25	3.70	**3.53**	—	.	.	.	4	cist, cu 6, Seegang: 2.
15.56	22.15	22.40^{2}	21.65	—	—	—	22.45	22.35	21.45	4.41	4.03	3.51	**3.43**	—	.	.	.	5	cist, cu, stcu 7, Seegang: 1.
16.54	22.20	23.05	21.65	—	—	—	22.50	22.25	21.45	4.71	4.28	3.70	**3.63**	—	.	.	.	6	cist, cu, stcu 4.
17.42	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4.55	4.20	3.61	**3.57**	—	.	.	.	7	cist, stcu 4. Temperaturangaben wenig zuverlässig wegen häufiger Kontaktstörungen.

Lebenslauf.

Ich, Herbert Bruch, wurde am 15. Juli 1914 als Sohn des jetzigen Verw. Amtmannes Albert Bruch und seiner Ehefrau Emma geb. Fritschmann in Schiltigheim i. Els. geboren.

Nach Besuch der Volksschulen in Lahr i. Baden und Berlin-Lichterfelde trat ich Ostern 1924 in die „Hindenburg-Oberrealschule" zu Berlin-Lichterfelde ein und legte dort im Februar 1933 die Reifeprüfung ab. Anschließend leistete ich das Werkhalbjahr im freiwilligen Arbeitsdienst ab und widmete mich dann dem Studium der Meteorologie, Ozeanographie und Physik. Insgesamt studierte ich 7 Semester an der Universität Berlin. Unterbrochen wurde das Studium in den Jahren 1935—1937 durch Ableistung des aktiven Militärdienstes. In den Monaten Mai bis Juli 1938 nahm ich als ozeanographischer Beobachter an der internationalen Golfstromexpedition auf dem Forschungsschiff „Altair" teil. Am 29. August 1939 wurde ich erneut zum Heeresdienst eingezogen, nahm am Polen-Feldzug teil und wurde am 4. Januar 1940 zur Beendigung meines Studiums für den Marinewetterdienst U. K. gestellt.

Berlin, den 15. Februar 1940.

Herbert Bruch.